

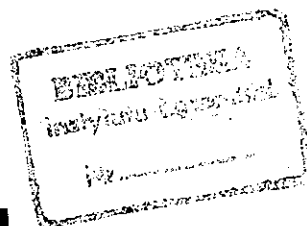
1 9 6 9

Nr 36

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA — MIEDZESZYN

PROBLEM ŁĄCZNOŚCI





PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

ROK 9

WARSZAWA 1969

NR 36

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja
Problemów Łączności i Przeglądu Zagadnień Łączności

Redaktor Naczelny - prof. Zenon Szpigler

Redaktorzy działów:

mgr inż. Władysław Cetner, mgr inż. Adam Moniuszko,
mgr inż. Józef Możejko, dr Stanisław Włoszczowski

Adres Redakcji

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Egz. nr

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 710. Druk ukończono
w sierpniu 1969 r.

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

SPIS TREŚCI

	Str.
A. Boglewski, J. Ganczewski - Przegląd metod badań ekonomicznych w telekomunikacji	1

Antoni Boglewski
Jerzy Ganczewski

621.39.003.1.

PRZEGLĄD METOD BADAŃ EKONOMICZNYCH W TELEKOMUNIKACJI

WSTĘP

Opracowanie to opiera się na wybranych publikacjach zagranicznych z zakresu badań ekonomicznych w telekomunikacji, wymienionych w podanym na końcu wykazie literatury.

Celem tego opracowania jest zapoznanie szerokiego ogółu pracowników inżynierskich i ekonomistów łączności z ogólnymi metodami badania ekonomicznej efektywności stosowanymi za granicą oraz z wybranymi przykładami takich badań w zakresie telekomunikacji.

Praca ta stanowi równocześnie fragment studiów zmierzających do opracowania optymalnych metod badania ekonomicznej efektywności w telekomunikacji, dostosowanych do potrzeb i warunków krajowych i nawiązujących do dotychczasowych osiągnięć polskich w zakresie metodyki badania ekonomicznej efektywności inwestycji.

W rozdziale 1. podany jest przegląd i dokonana analiza ogólnych metod rachunku ekonomicznego efektywności w telekomunikacji, ze szczególnym uwzględnieniem metod rachunku ekonomicznej efektywności inwestycji.

W rozdziale 2. podane są trzy wybrane przykłady zastosowania metod badania ekonomicznej efektywności w telekomunikacji, a mianowicie: pierwszy dotyczy zagadnień sieci miejscowych, drugi - zagadnienia wyboru systemu, a trzeci - zagadnienia sieci międzymiastowej.

Przykłady te nie są pomyślane jako ilustracja omawianych w rozdziale 1. metod rachunku ekonomicznego efektywności, lecz każdy z nich stanowi zwartą metodologicznie całość.

Przedstawione w 2. rozdziale opracowanie metody badań ekonomicznych wybranych problemów sieci telekomunikacyjnej przedstawiają pewne koncepcje umożliwiające wprowadzenie do złożonych zagadnień technicznych telekomunikacji rachunku ekonomicznej efektywności. W odróżnieniu od samych metod rachunku ekonomicznej efektywności, które jako narzędzia polityki gospodarczej państwa mogą być w pełni stosowane tylko w konkretnych systemach gospodarczych, metody zaprezentowane w rozdz. 2. mogą być wykorzystane w dowolnych warunkach, w tym również i w Polsce, bez potrzeby adaptacji.

1. PRZEGLĄD METOD RACHUNKU EKONOMICZNEJ EFEKTYWNOŚCI W TELEKOMUNIKACJI

1.1. Zagadnienia ogólne

Telekomunikacja należy do najbardziej dynamicznie rozwijających się usług łączności. Szybki postęp techniczny, wzrost kapitałochłonności, rosnący popyt na u-

sługi telekomunikacji oraz ograniczone zazwyczaj środki inwestycyjne, podkreślają szczególną wagę badań nad ekonomiczną efektywnością inwestycji w telekomunikacji.

W krajach kapitalistycznych, w których wszelka działalność inwestycyjna prowadzona jest w celu osiągnięcia zysku, dużo uwagi poświęca się metodom określania ekonomicznej efektywności inwestycji. Metody te mają pomóc w wyborze najbardziej rentownych kierunków inwestowania i dać matematycznie wyliczalne uzasadnienie podejmowanym decyzjom inwestycyjnym. Oczywiście, ponieważ część elementów rachunku ekonomicznej efektywności inwestycji ustalona się w oparciu o pewne szacunki, jest on rachunkiem przybliżonym. Poza tym z każdą inwestycją związane są pewne istotne efekty, które z racji swojej niemierzalności, nie są możliwe do ujęcia w matematycznej formule metody określania ekonomicznej efektywności ekonomicznej inwestycji. Efekty te jednak często w dużym stopniu decydują o powodzeniu całego przedsięwzięcia. Matematyczny wynik rachunku ekonomicznej efektywności inwestycji nie może więc wyłącznie i ostatecznie decydować o wyborze takiego czy innego rozwiązania.

Zakres badań ekonomicznej efektywności w telekomunikacji obejmuje analizy przeprowadzone w dwóch fazach: w fazie wyboru optymalnych środków, tj. systemów urządzeń oraz w fazie wyboru optymalnych wariantów inwestycji.

Faza wyboru optymalnych środków obejmuje badania niezbędne dla dokonania wyboru najefektywniejszych rozwiązań technicznych, dostosowanych do przewidywanego zapo-

trzebowania na usługi. Faza ta jest szczególnie ważna w telekomunikacji, z uwagi na długi z reguły okres eksploatacji jej urządzeń oraz duże możliwości dostosowywania istniejących środków (systemów urządzeń) zarówno do zróżnicowanego pod względem wielkości zapotrzebowania, jak i jego późniejszych zmian dynamicznych. Analizy prowadzone w tej fazie mają charakter modelowy. W rezultacie badań prowadzonych w fazie wyboru optymalnych środków powinny zostać określone najbardziej ekonomicznie uzasadnione parametry techniczne poszukiwanych rozwiązań.

Faza wyboru optymalnych wariantów inwestycji obejmuje badanie ich w odniesieniu do konkretnych warunków. Celem tej analizy jest wybór rozwiązania, które zapewniłoby zaspokojenie określonych potrzeb przy możliwie najmniejszych nakładach. Faza wyboru optymalnych inwestycji jest przedłużeniem fazy wyboru optymalnych środków, przy czym faza pierwsza w znacznym stopniu determinuje wyniki uzyskiwane w drugiej.

Wspólnym celem optymalizacji środków i wariantów inwestycji jest osiągnięcie możliwie maksymalnych efektów ekonomicznych w działalności inwestycyjnej i eksploatacyjnej.

Zakres badań efektywności ekonomicznej inwestycji jest bardzo szeroki. Można bowiem badania takie przeprowadzać w odniesieniu do pewnych tylko fragmentów obiektu inwestycyjnego, jak również do całych kompleksów obiektów.

Stosowanie kompleksowego rachunku efektywności inwestycji w telekomunikacji jest bardzo utrudnione. Wynika

to ze szczególnej złożoności telekomunikacji oraz jej sieciowego charakteru, który powoduje, że efekty nakładu poniesionego w jednym tylko miejscu realizowane są na obszarze całej sieci. Efekty danego przedsięwzięcia nie są przy tym realizowane w poszczególnych punktach w jednakowym czasie. W pewnych punktach bowiem efekty takie są możliwe do uzyskania dopiero w połączeniu z efektami innych inwestycji. Biorąc pod uwagę, że jednocześnie na obszarze sieci realizuje się wiele przedsięwzięć inwestycyjnych, odniesienie efektów do odpowiednich nakładów jest w jeszcze większym stopniu utrudnione. Do tego dochodzi jeszcze odrębne zagadnienie określenia wielkości wyjściowych niezbędnych do zastosowania wybranej metody.

W badaniach związanych z określeniem ekonomicznej efektywności przedsięwzięć inwestycyjnych największą trudność sprawiają nie obliczenia wynikające z matematycznego wzoru przyjętej metody, lecz określenie dostatecznie pewnych wartości współczynników wchodzących w skład tego wzoru i decydujących o wyniku obliczeń. Do szczególnie trudnych należy zadanie określenia wielkości kosztów planowanych urządzeń. W przedstawionych w niniejszym opracowaniu przykładach widzimy próby przewyciężania tych trudności. Wprowadzenie zwłaszcza pewnych założeń a priori i uproszczeń, w połączeniu z odpowiednią techniką obliczeniową, daje możliwość praktycznego zastosowania rachunku ekonomicznego do zagadnień sieciowych.

W ogóle należy stwierdzić, że obecnie dąży się do

rozszerzania zakresu zastosowania metod badania ekonomicznej efektywności inwestycji oraz rozstrzygania w oparciu o nie coraz większej liczby podstawowych problemów związanych z planowaniem i realizacją inwestycji, aż do wyboru koncepcji technologicznych włącznie.

Prezentowane w niniejszym opracowaniu koncepcje metod rachunku ekonomicznej efektywności inwestycji są ściśle związane z kapitalistycznymi sposobami produkcji. O ile zatem z merytorycznego punktu widzenia mogą występować pewne trudności w zastosowaniu ich w warunkach gospodarki socjalistycznej, o tyle z punktu widzenia możliwości wykorzystania matematycznych instrumentów w analizie efektywności inwestycji, niektóre elementy tego rachunku, wynikające z zasad racjonalnego gospodarowania mogą być przydatne również w gospodarce społecznej.

Niniejszy rozdział jest próbą analizy i syntezy prac zagranicznych z ostatniego okresu, dotyczących omówionych wyżej zagadnień. Opiera się on przede wszystkim na pracach zagranicznych, wyszczególnionych w wykazie literatury pod pozycjami: [1, 3 i 5.] Przy opracowaniu korzystano również z innych opracowań zagranicznych, z których najważniejsze są podane w pozycjach [8 i 9] wykazu literatury.

1.2. Metody badania ekonomicznej efektywności inwestycji w telekomunikacji

Przez efektywność ekonomiczną inwestycji rozumiemy stosunek efektów, które uzyskujemy dzięki realizacji da-

nej inwestycji, do nakładów niezbędnych do jej wykonania, a następnie eksploatacji. Oczywiście inwestycja jest wtedy ekonomicznie uzasadniona, gdy efekty są większe od poniesionych nakładów.

Podstawowym kryterium określania efektywności inwestycji w gospodarce kapitalistycznej jest maksimum osiągniętego dzięki nim zysku. Istotne jest przy tym, że kryterium maksymalnego zysku stosowane jest w interesie indywidualnego przedsiębiorcy-inwestora. Determinuje to metodykę badań i charakter stosowanych form rachunku ekonomicznej efektywności inwestycji w krajach kapitalistycznych. Tak więc charakterystyczną cechą niektórych rozwiązań w zakresie metodyki rachunku ekonomicznej efektywności w tych krajach jest próba stworzenia takiej formy rachunku, która odpowiadałaby dążeniom inwestorów do zabezpieczenia się przed ryzykiem wynikającym z konkurencji rynkowej i zmienności koniunktury. Klasycznym przykładem jest tu ostatnio szeroko stosowana metoda "pay-off" (okresu zwrotu).

Kryterium wyboru inwestycji w tej metodzie jest szybki zwrot kapitału z przewidywanych zysków, co nie koniecznie pokrywa się z poprzednio omawianymi tendencjami do maksymalizacji zysku z inwestycji.

Inną cechą rachunku ekonomicznej efektywności inwestycji, odzwierciedlającą charakter gospodarki kapitalistycznej, jest przyjmowanie na ogół w stosowanych formach rachunku stałości kosztów i wpływów, co wynika z dużej trudności przewidywania przyszłych wydatków i wpływów.

W ostatnich latach opracowano metody umożliwiające ujmowanie badań efektywności ekonomicznej pewnych przypadków inwestycyjnych w formie dynamicznej, co jest szczególnie użyteczne, gdy badania statystyczne wykazują określone tendencje rozwojowe w zakresie zapotrzebowania na usługi.

Obecnie stosowane metody określania ekonomicznej efektywności inwestycji można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- 1) metody klasyczne,
- 2) metody współczesne.

Metody klasyczne wiążą się z tradycyjną dla gospodarki kapitalistycznej - zasadą maksymalizacji zysku.

Ze względu na specyficzne cechy kalkulacji pieniężnej oraz z uwagi na to, że ponoszone nakłady i osiągnane efekty przypadają na różne momenty czasowe, w metodach tych stosuje się odpowiednie oprocentowanie zainwestowanego kapitału. W analizach, prowadzonych w oparciu o te metody, nie wystarczy więc, że w określonych warunkach kapitalista osiągnie sumę efektów przekraczającą poniesione nakłady, ale suma ta winna również uwzględniać odpowiednie oprocentowanie środków zainwestowanych, nie mniejsze niż stopa procentowa przyjęta w danym momencie na rynku.

W zasadzie, różnice między poszczególnymi metodami klasycznymi badania ekonomicznej efektywności nakładów inwestycyjnych ograniczają się jedynie do symbolu wyrażania kryterium wyboru, którym jest zawsze maksimum war-

tości kapitałowej, stanowiącej różnicę między zdyskontowanymi sumami wpływów i wydatków, powstających w poszczególnych latach w wyniku realizacji inwestycji. Tak więc, jeśli uzyskany w kolejnych latach strumień wydatków oznaczmy odpowiednio $a_1, a_2 \dots a_n$, a wpływów $b_1, b_2 \dots b_n$, to wartość kapitałowa w danym momencie czasu t wyniesie:

$$W_k = \frac{b_t + 1 - a_t + 1}{1 + i} + \dots + \frac{b_n - a_n}{(1+i)^{n-t}}$$

gdzie i stanowi stopę procentową, a n okres eksploatacji. Jest rzeczą oczywistą, że tylko dodatnia wartość kapitałowa jest korzystna dla inwestora, a wielkość tej wartości będzie świadczyła o rozmiarach realizowanego zysku.

Metody współczesne wywodzą się w zasadzie z metod klasycznych, ale formuły ich dostosowane są do obecnych potrzeb praktyki kapitalistycznego inwestora. Niektóre z nich problem maksymalizacji zysku traktują drugoplanowo, stawiając na pierwszy plan minimalizację okresu zwrotu nakładów, co wynika z potrzeby zabezpieczenia szybkiego wycofania zainwestowanego kapitału wobec niepewności koniunkturalnych.

Najnowsze metody, szczególnie metody opracowane dla pewnych specyficznych inwestycji, umożliwiają dynamiczne ujęcie zjawisk ekonomicznych, odrzucając przyjęte w metodach klasycznych założenia stałości kosztów i wpływów.

1.3. Metody klasyczne

Z klasycznych metod badania efektywności inwestycji - metody dyskonta i metody równych stawek - szczególną rolę w telekomunikacji odgrywa metoda dyskonta, zwana również metodą wartości dzisiejszej (Barwertmethode). Metodę tę stosuje się szczególnie w przypadku, gdy ponoszone nakłady i osiągnane efekty z realizowanej inwestycji rozkładają się nieregularnie w czasie oraz gdy analizowane przedsięwzięcie ma mieć charakter inwestycji etapowanej.

1.3.1. Metoda dyskonta [3]

Efektywność ekonomiczną w metodzie dyskonta oblicza się przez porównanie zdyskontowanych na wspólny moment odniesienia nakładów i efektów, które powstaną w okresie realizacji eksploatacji inwestycji. Oczywiście nie uwzględnia się przy tym amortyzacji kapitału wyłożonego na uruchomienie inwestycji, ponieważ wchodzi on do rachunku w pełnej sumie jako wartość nabycia urządzeń. Tak więc, zdyskontowana pełna wartość inwestycji na moment odniesienia składać się będzie ze zdyskontowanych efektów powstałych w okresie zaangażowania kapitału po odjęciu:

- a) zdyskontowanych kosztów eksploatacyjnych, poniesionych w tym samym okresie czasu oraz
- b) wartości nabycia urządzeń.

W telekomunikacji bardzo często można spotkać się z przypadkiem, w którym poszczególne warianty inwestycji różnią się od siebie jedynie wielkością nakładu inwestycyjnego, podczas gdy ich zdolności usługowe (efekty) są sobie równe. W takim przypadku wystarczy określić jedynie sumę wartości zdyskontowanych kosztów eksploatacyjnych i wartość początkową inwestycji w momencie odniesienia, przy czym wariant reprezentujący najmniejszą sumę jest najbardziej efektywny.

Dla uproszczenia rachunku w metodzie dyskonta przyjmuje się, że koszty i efekty powstają w końcu roku i odnoszą się do pełnej ilości lat. Samą operację dyskontowania przeprowadza się przy pomocy współczynników uwzględniających kalkulacyjną stopę procentową oraz okres czasu ponoszenia kosztów lub efektów (n).

Metoda dyskonta umożliwia uwzględnienie różnych przypadków wariantów inwestycyjnych. Tak więc, w przypadkach, gdy koszty i efekty powstają regularnie i w tej samej wysokości w ciągu roku przez ograniczony okres (n) lat, sprowadzenie ich do wartości dzisiejszej następuje przez pomnożenie średniej wartości rocznej kosztów lub efektów przez współczynnik dyskontujący:

$$\frac{(1 + i)^n - 1}{i(1 + i)^n} ;$$

gdzie n oznacza długość okresu czasu lub moment powstania kosztów czy efektów, a i — stopę procentową.

Natomiast w przypadkach, gdy koszty lub efekty po-

wstają regularnie i w jednakowej rocznej wysokości przez nieograniczony okres czasu, to w celu obliczenia wartości dzisiejszej należy je pomnożyć przez współczynnik $\frac{1}{1+i}$.

Najczęściej jednak można spotkać się z przypadkiem, gdy zarówno koszty jak i efekty występują w nieregularnych okresach, wtedy należy je osobno dyskontować przy pomocy współczynnika dyskontującego:

$$\frac{1}{(1+i)^n},$$

gdzie n oznacza okres czasu od momentu odniesienia do końca roku, w którym powstały te koszty lub efekty.

Gdy koszty lub efekty występują w nieregularnych okresach czasu, w poszczególnych okresach mają jednak przebieg regularny i w jednakowej wysokości rocznej, to należy średnioroczne koszty lub efekty tych okresów zdyskontować przy pomocy współczynnika:

$$\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

gdzie n - oznacza ilość lat w każdym okresie. Następnie zdyskontowane w ten sposób wielkości dla poszczególnych okresów należy zdyskontować ponownie do wspólnego momentu odniesienia dla wszystkich okresów, przy pomocy współczynnika:

$$\frac{1}{(1+i)^n},$$

gdzie n oznacza każdorazowy przeciąg czasu od wspólnego momentu odniesienia do początku poszczególnych okresów.

Metodę dyskonta można stosować również w przypadku, kiedy koszty i efekty wykazują regularność, występując w jednakowej wysokości w takich samych okresach czasu złożonych z n lat, w nieograniczonym czasie, t.zn. inwestycja może być powtarzana dowolną ilość razy. W takiej sytuacji można zastosować współczynnik:

$$\frac{(1+i)^n}{(1+i)^{n-1}}$$

Należy nadmienić, że regularnie powtarzające się koszty, powstające w jednakowych okresach czasu, często spotyka się przy etapowaniu inwestycji w telekomunikacji (np. w teletransmisji).

Przykład

Inwestycja A przy stopie kalkulacyjnej 8% charakteryzuje się następującym strumieniem wydatków i wpływów:

Lata	Wydatki (a)	Wpływy (b)
0	700	-
1	600	700
2	500	800
3	500	800
4	700	700
5	600	600
6	600	600

Zdyskontowane wydatki wynoszą:

$$\begin{aligned}
 & a_0 + a_1(1+i)^{-1} + a_2(1+i)^{-2} + a_3(1+i)^{-3} + a_4(1+i)^{-4} + a_5(1+i)^{-5} + \\
 & + a_6(1+i)^{-6} = 700 + 600(1+0,08)^{-1} + 500(1+0,08)^{-2} + 500(1+0,08)^{-3} + \\
 & + 700(1+0,08)^{-4} + 600(1+0,08)^{-5} + 600(1+0,08)^{-6} = 700 + 555,6 + \\
 & + 428,5 + 397,0 + 514,4 + 408,6 + 378,0 = 3082,7
 \end{aligned}$$

Zdyskontowane wpływy wynoszą:

$$\begin{aligned}
 & b_1(1+i)^{-1} + b_2(1+i)^{-2} + b_3(1+i)^{-3} + b_4(1+i)^{-4} + b_5(1+i)^{-5} + \\
 & + b_6(1+i)^{-6} = 700(1+0,08)^{-1} + 800(1+0,08)^{-2} + 800(1+0,08)^{-3} + \\
 & + 700(1+0,08)^{-4} + 600(1+0,08)^{-5} + 600(1+0,08)^{-6} = 648,2 + \\
 & + 685,6 + 635,2 + 514,4 + 408,6 + 378,0 = 3231
 \end{aligned}$$

Stąd wartość kapitałowa $W_k = 3231 - 3082,7 = 148,3$.

Inwestycja A może być zatem podjęta ponieważ jej wartość kapitałowa jest dodatnia:

$$W_{kA} = 148,3 > 0.$$

1.3.2. Metoda równych stawek [3]

Metoda równych stawek (rat amortyzacyjnych - Annuitätsmethode), podobnie jak i dyskonta, zaliczana jest

do klasycznych metod badania ekonomicznej efektywności inwestycji. Polega ona na przekształceniu zdyskontowanych na moment wyjściowy wydatków i wpływów, w ekwiwalentny szereg, przy pomocy specjalnego współczynnika transformującego (amortyzacyjnego), uwzględniającego przewidywany okres eksploatacji (n) i kalkulacyjną stopę procentową (i):

$$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Przekształcone w ten sposób wielkości zdyskontowanych wydatków i wpływów określa się jako wielkości średnich wydatków i wpływów rocznych (ew. kwartalnych). Metoda ta jest więc szczególnie przydatna wtedy, gdy porównywane koszty lub efekty inwestycji rozkładają się równomiernie w czasie i przypadają na te same momenty czasowe. Jeśli przyjmiemy, że roczne wpływy w wyniku podjęcia inwestycji wynoszą w kolejnych latach a_1, a_2, \dots, a_n , to przy założonej stopie dyskontowej i , średnioroczne wpływy wyniosą:

$$x = \left[b_1(1+i)^{-1} + b_2(1+i)^{-2} + \dots + b_n(1+i)^{-n} \right] \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

i odpowiednio średnie roczne wydatki przy strumieniu b_1, b_2, \dots, b_n , wyniosą:

$$W_{\text{sr}} = \left[a_1(1+i)^{-1} + a_2(1+i)^{-2} + \dots + a_n(1+i)^{-n} \right] \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Przy danej stopie kalkulacyjnej oprocentowania inwestycja jest rentowna, gdy średnie roczne wpływy są większe od średnich rocznych wydatków. Posiadając możliwość wyboru, inwestor posługujący się tą metodą wybierze wariant o największej nadwyżce średnich rocznych wpływów nad wydatkami.

Metoda równych stawek jest szczególnie przydatna w przypadkach, gdy nakłady inwestycyjne są wydatkowane jednorazowo, a wydatki eksploatacyjne i wpływy występują w każdym roku w jednakowej wysokości. W takich przypadkach można w ogóle nie uwzględniać czynnika czasu w stosunku do rocznych wydatków eksploatacyjnych i wpływów, a ustalić jedynie roczną ratę amortyzacyjną samego nakładu inwestycyjnego, która wraz z kosztami eksploatacyjnymi da przeciętne roczne wydatki całkowite badanej inwestycji, porównywalne z roczną kwotą wpływów. Tak więc, w przypadku, gdy wydatki w kolejnych latach trwania inwestycji są równe, to znaczy, że $b_1 = b_2 = \dots = b_n$, suma zdyskontowanych wydatków z kwadratowego nawiasu wzoru na $W_{\text{śr}}$ wyniesie:

$$\sum_{k=1}^{k=n} a(1+i)^{-k} = a \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \cdot i}.$$

Podstawiając do wzoru na $W_{\text{śr}}$:

$$W_{\text{śr}} = \sum_{k=1}^{k=n} a_k (1+i)^{-k} \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

otrzymamy:

$$W_{\text{śr}} = a \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = a.$$

Przykład

Nakłady inwestycyjne 500; okres eksploatacji 6 lat, roczny koszt eksploatacji 150. Przy stopie kalkulacyjnej 8% przeciętne roczne wydatki wyniosą:

$$W_{\text{śr}} = 500 \cdot \frac{0,08(1+0,08)^6}{(1+0,08)^6 - 1} + 150 = 258$$

Powyższą metodę można zastosować również w przypadku, gdy projektowana inwestycja po upływie określonego okresu eksploatacji będzie posiadała pewną wartość w postaci złomu (R). Przy obliczaniu średnich rocznych wydatków należy wtedy pomniejszyć je o wielkość wartości pozostałej inwestycji skorygowanej współczynnikiem:

$$\frac{i}{(1+i)^n - 1},$$

gdzie: n - okres eksploatacji; i - stopa procentowa.

Średnie roczne wydatki wyniosą wtedy:

$$W_{\text{śr}} = A \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} + E - \frac{R \cdot i}{(1+i)^n - 1},$$

gdzie A - wartość początkowa inwestycji i E - roczne koszty eksploatacyjne.

W praktyce czasami metodę równych stawek stosuje się w formie uproszczonej, z pominięciem procentu składanego¹⁾. Metodę tę można stosować tylko w przypadkach, gdy nie zachodzi potrzeba uwzględniania wartości pozostałej (R). Przeciętne roczne koszty całkowite oblicza się wtedy przez zsumowanie rocznych kosztów eksploatacyjnych, odpisów amortyzacyjnych i średnich rocznych odsetek. Średnie roczne wydatki oblicza się w oparciu o następującą formułę:

$$W_{\text{śr}} = \frac{A}{n} + \frac{A \cdot i}{2} \cdot \frac{n+1}{2} + E.$$

Aproksymatywna metoda równych stawek jest jedną z najbardziej odpowiadających wymaganiom praktyki, może ona jednak być stosowana tylko w przypadkach inwestycji, w których:

- a) nakłady inwestycyjne wydatkowane są jednorazowo,
- b) roczne wydatki oraz wpływy występują w równych wielkościach.

Przybliżona metoda nie daje dokładnych wyników. Różnice między wynikami uzyskanymi w oparciu o metodę dokładną i przybliżoną są tym większe, im dłuższy jest okres eksploatacji inwestycji oraz im wyższa jest kalkulacyjna stopa procentowa. Z tej przyczyny stosowanie tej metody nie jest wskazane w przypadku inwestycji o długim okresie eksploatacji.

¹⁾ Nosi ona nazwę aproksymatywnej metody równych stawek.

1.4. Metody współczesne

1.4.1. Metoda wielkości granicznej [3]

Spośród współczesnych metod badania ekonomicznej efektywności inwestycji w telekomunikacji w krajach Zachodnich między innymi znajduje zastosowanie metoda wielkości granicznej.

W odróżnieniu od metod klasycznych, w których porównanie wariantów inwestycyjnych polega na przeciwstawieniu sobie kosztów lub efektów względnie ich wartości zdyskontowanych, w metodzie wielkości granicznej, efektywność wariantów inwestycyjnych określana jest wartościami granicznymi dowolnie wybranych wielkości ekonomicznych, jak np. koszt inwestycji, okres eksploatacji, kalkulacyjna stopa procentowa itp.

Metoda ta polega na porównaniu kosztów analizowanych wariantów inwestycyjnych. Porównanie odbywa się przy pomocy odpowiednio ułożonego równania, dającego możliwość znalezienia poszukiwanej wielkości. Ocena ekonomicznej efektywności ogranicza się do sprawdzenia czy graniczna wartość szukanej wielkości jest mniejsza lub większa od wielkości z analizowanego wariantu.

Metodę wielkości granicznej stosuje się w powiązaniu z innymi metodami, np. dyskonta lub równych stawek. W celu wyeliminowania pracochłonnych obliczeń stosuje się przy tym odpowiednio ułożone tablice, ułatwiające znalezienie poszukiwanych wielkości.

Metoda wielkości granicznych posiada wiele zalet i dlatego jest ona zalecana w wielu krajach między innymi w Niemieckiej Poczcie Związkowej (Deutsche Bundespost). Jest ona szczególnie przydatna w telekomunikacji, przy badaniu ekonomicznej efektywności inwestycji polegających na zastąpieniu pracy ręcznej pracą zmechanizowaną (np. w automatyzacji ruchu telefonicznego) oraz w analizach wariantów inwestycyjnych o różnych stopniach mechanizacji.

Przykład¹⁾.

Projektowana nowa inwestycja ma wprowadzić zmiany w procesie technologicznym, polegające na zastąpieniu pracy ręcznej pracą zmechanizowaną. W wyniku przeprowadzonych zmian przewiduje się, że koszty eksploatacyjne (Bn) nowej inwestycji wyniosą 12.000 rocznie, podczas gdy przy starej technologii koszty eksploatacyjne (głównie osobowe) wynosiły (Ba) 20.000 rocznie. Przez wyeliminowanie pracy ręcznej przewiduje się więc osiągnięcie rocznej oszczędności w wysokości 8.000. Jednocześnie przewiduje się, że nakłady na nową inwestycję wyniosą 35.000, okres eksploatacji 8 lat i po jego upływie wartość inwestycji będzie równa 0; kalkulacyjna stopa procentowa wynosi $i = 6,5\%$.

¹⁾ Hillebrenner H., Darmstadt: Verfahren zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit technischer Planungen im Fernmeldewesen. Zeitschrift für das Post- und Fernmeldewesen 1965, t. 17, nr 2, s. 43-48.

Inwestycje można podjąć, gdy uzyskane oszczędności w odpowiednio korzystnym okresie czasu pokryją nakłady na inwestycję wraz z oprocentowaniem. Celem analizy w tym przypadku jest obliczenie okresu zwrotu nakładów z osiągniętych zysków. Jest rzeczą oczywistą, że okres ten winien być krótszy od okresu eksploatacji inwestycji.

Okres zwrotu nakładów projektowanej inwestycji można obliczyć przy pomocy metody wielkości granicznej, powiązanej z metodą równych stawek. Poszukiwany okres zwrotu, poniesionych nakładów (A) wraz z oprocentowaniem, w wyniku uzyskanych oszczędności oznaczmy przez x. W celu wyznaczenia tej wielkości porównajmy roczne koszty kapitałowe z rocznymi oszczędnościami wynikającymi z zastosowania nowej technologii:

$$A \frac{i(1+i)^x}{(1+i)^x - 1} = B_a - B_n.$$

Po podstawieniu odpowiednich danych z przykładu otrzymujemy:

$$35000 \frac{i(1+i)^x}{(1+i)^x - 1} = 8000,$$

a po przekształceniu:

$$\frac{i(1+i)^x}{(1+i)^x - 1} = \frac{8000}{35000} = 0,2286.$$

W odpowiednich tablicach pomocniczych¹⁾ odczytuje się

¹⁾ Allgemeine Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsrechnungen bei der Deutschen Bundespost - 1961.

dla współczynnika zwrotu równego 0,2286 i stopy procentowej 6,5% okresu zwrotu nakładu (u) równy w przybliżeniu 5 latom.

Jest to graniczna wartość okresu eksploatacji, przy której obydwie procesy technologiczne mają jednakową efektywność ekonomiczną. Innymi słowy, urządzenia dla zmechanizowania pracy, które miałyby okres eksploatacji niższy niż 5 lat nie opłacałyby się. Wiemy jednak, że inwestycja ta ma okres eksploatacji nie 5 lecz 8 lat, a zatem pokryje koszty inwestycji wraz z oprocentowaniem już w ciągu 5 lat. Nowy proces technologiczny jest zatem bardziej efektywny ekonomicznie niż poprzedni - ręczny.

Równie łatwo można uzyskać to samo rozwiązanie stosując metodę wielkości granicznej w powiązaniu z metodą dyskonta. Nakłady inwestycyjne (A) wynoszą 35.000, natomiast wartość rocznych oszczędności w przeciągu n lat eksploatacji wynosi dla tego samego momentu odniesienia co A:

$$(B_a - B_n) \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

Należy znaleźć okres czasu, w którym nastąpi zwrot nakładów inwestycyjnych wraz z oprocentowaniem z oszczędności. Podobnie jak poprzednio, okres ten zostanie oznaczony x:

$$\frac{(1+i)^x - 1}{i(1+i)^x} \cdot (B_a - B_n) = A,$$

Podstawiając założone wartości:

$$\frac{(1+i)^x - 1}{i(1+i)^x} \cdot 8.000 = 35.000,$$

otrzymamy:

$$\frac{(1+i)^x - 1}{i(1+i)^x} = \frac{35.000}{8.000} = 4,3750.$$

W odpowiedniej tablicy można odnaleźć dla wartości 4,3750 i stopy procentowej 6,5% poszukiwany okres n lat w wysokości ok. 5 lat¹⁾.

Odrębnym zagadnieniem jest określenie, jaki z czasów zwrotu należy uznać jako graniczny. Jest to problem otwarty, gdyż inwestor każdorazowo uzależnia długość tego okresu od ogólnej sytuacji gospodarczej. Zazwyczaj przyjmuje się okres 5-letni jako nieprzekraczalny.

Ostatnia z omówionych metod należy obecnie do najbardziej rozpowszechnionych w gospodarce kapitalistycznej. Jest ona bowiem najodpowiedniejsza dla inwestora w warunkach niepewności sytuacji rynkowej, szybkiego postępu technicznego, konkurencji. Inwestor, ponosząc duże ryzyko, dąży do możliwie najszybszego pokrycia kosztów inwestycji z płynących z niej zysków.

1.4.2. Metoda włoska [1]

W ostatnich latach została opracowana we Włoszech nowa metoda badania efektywności nakładów inwestycyjnych.

¹⁾ Op. cit.

Metoda ta pozwala na uwzględnienie oddziaływania na efektywność ekonomiczną przedsięwzięć inwestycyjnych zmian popytu na poszczególne usługi. Uwzględnienie tych zmian jest możliwe w przypadkach, gdy badania statystyczne umożliwiają ustalenie określonych tendencji rozwojowych usług.

Nowa metoda włoska, opublikowana przez F. Mazzarella i G. Timperi [1], wykorzystuje do porównania ekonomicznej efektywności różnych wariantów inwestycyjnych w telekomunikacji wskaźnik porównawczy c , będący stosunkiem wartości wszystkich kosztów związanych z realizacją i eksploatacją inwestycji V_s do wartości rzeczywistej usług telekomunikacyjnych V_r , świadczonych przez tę inwestycję¹⁾:

$$c = \frac{V_s}{V_r}$$

¹⁾ Ponieważ we wzorach zachowano oryginalne oznaczenia poszczególnych czynników ekonomicznych, różniące się zasadniczo od przyjętych u nas oznaczeń, dla ułatwienia zostały one zestawione poniżej.

- c - wskaźnik porównawczy ekonomicznej efektywności inwestycji,
- V_s - łączne koszty związane z realizacją i eksploatacją inwestycji,
- S_j - suma kosztów ponoszonych w poszczególnych latach,
- $B(j)$ - współczynnik redukcyjny (dyskontowy),
- N_0 - wartość usług przypadających na początek pierwszego roku eksploatacji,
- N_j - wartość usług przypadających na rok j ,
- j_0 - rok, w którym inwestycja osiągnie maksymalną zdolność usługową,
- N - maksymalna wartość usług inwestycji przypadających na rok j_0 .

Wartość rzeczywistą wszystkich kosztów związanych z inwestycją V_s oblicza się ze wzoru uwzględniającego wpływ czasu jako sumę wartości rzeczywistych kosztów ponoszonych w poszczególnych latach S_j pomnożonych przez współczynnik redukcyjny (dyskontowy) $B(j)$, będący funkcją roku eksploatacji j oraz stopy dyskontowej i :

$$V_s = \sum_j S_j \cdot B(j),$$

przy czym:

$$B(j) = \frac{1}{(1+i)^j}$$

Wartość rzeczywistą usług świadczonych przez inwestycję V_r oblicza się ze wzoru uwzględniającego wpływ czasu jako sumę wartości rzeczywistych usług uzyskanych w poszczególnych latach N_j , pomnożonych przez współczynnik redukcyjny $B(j)$:

$$V_r = \sum_j N_j \cdot B(j).$$

Dany wariant inwestycyjny jest tym bardziej korzystny, im jego wskaźnik porównawczy c osiągnie mniejszą wartość.

W omawianej metodzie przyjęto założenie, że wartość usług telekomunikacyjnych, świadczonych przez daną inwestycję, jest wprost proporcjonalna do ilości tych usług, a więc że funkcja wartości usług w czasie jest również funkcją rozwoju ilości usług telekomunikacyjnych w czasie.

Autorzy metody opracowali wzory do obliczania wartości rzeczywistej usług telekomunikacyjnych V_r dla trzech rodzajów funkcji rozwoju usług, a mianowicie, gdy:

- funkcja jest liniowa (rys. 1a i b)¹⁾,
- funkcja jest wykładnicza bez tendencji do nasycenia (rys. 2a i b),
- funkcja jest wykładnicza z tendencją do nasycenia (rys. 3a i b).

Dla każdego rodzaju funkcji autorzy uwzględnili dwie możliwości:

1) nieograniczony okres eksploatacji inwestycji, tj. do roku $j = \infty$,

2) ograniczony okres eksploatacji inwestycji, tj. do roku j_1 .

Przykład 1.

Obliczenie wartości rzeczywistej usług V_r w przypadku, gdy ich rozwój w czasie przebiega wg funkcji liniowej.

Na początku pierwszego roku eksploatacji inwestycji, wartość usług telekomunikacyjnych wynosi N_0 . Maksymalna wartość świadczonych usług N jest ograniczona i przypada na rok j_0 .

¹⁾ Wszystkie rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

Jeśli rozwój usług analizowanej inwestycji ma charakter liniowy, to:

$$N_j = N_0 + K \cdot j,$$

przy czym

$$K = \frac{N - N_0}{j_0}$$

W przypadku, kiedy okres użytkowania inwestycji jest nieograniczony (rys. 1a), wartość rzeczywistą usług za nieograniczony okres jego eksploatacji oblicza się ze wzoru:

$$V_r = \sum_0^{\infty} j N_j \cdot B(j) = \frac{1}{i} \{ K [1 + E(j_0 - 1)] + N_0 \},$$

gdzie:

$$E(j_0 - 1) = \frac{(1+i)^{j_0 - 1} - 1}{(1+i)^{j_0 - 1} \cdot i},$$

Obszerne obliczenia według powyższego wzoru można uprościć przez przygotowanie odpowiednich wykresów lub tablic pomocniczych. W tym celu została wprowadzona wielkość względna V'_r , określana stosunkiem wartości rzeczywistej usług V_r za cały rozpatrywany okres eksploatacji do wartości usług pierwszego roku eksploatacji N_0 .

$$V'_r = \frac{V_r}{N_0}.$$

Wartość V'_r oblicza się ze wzoru:

$$V_r' = \frac{1}{i} \cdot \left\{ \frac{K}{N_0} \cdot [1 + E(j_0 - 1)] + 1 \right\}.$$

Wzór ten wykorzystuje się do ułożenia wykresów w układzie V_r' , j_0 . Wykresy układa się dla określonych wartości stopy dyskontowej (i) i wykreśla się rodziny krzywych dla zmiennych parametrów stosunków $\frac{K}{N_0}$ i $\frac{N}{N_0}$. Wykresy dla wartości stopy dyskontowej (i) równej: 5,5%, 6%, 6,5% oraz 7% są przedstawione na rys. 4 do 7.

Z wykresów tych można odczytać wartość V_r mając dane: j_0 i $\frac{K}{N_0}$ lub j_0 i $\frac{N}{N_0}$, lub też $\frac{K}{N_0}$ i $\frac{N}{N_0}$.

W przypadku kiedy okres eksploatacji inwestycji jest ograniczony i trwać będzie do roku j_1 (rys. 1b), rzeczywistą wartość usług za ten okres oblicza się ze wzoru:

$$V_r = \sum_0^{j_1} j \cdot N_j \cdot B(j) = K \left\{ j_0 \cdot B(j_0) \left[E(j_1 - j_0) - \frac{1}{i} \right] + \frac{1 + E(j_0 - 1)}{i} \right\} + N_0 \cdot E(j_0),$$

przy czym:

$$E(j_1 - j_0) = \frac{(1+i)^{j_1 - j_0} - 1}{(1+i)^{j_1 - j_0} \cdot i},$$

$$E(j_0) = \frac{(1+i)^{j_0} - 1}{(1+i)^{j_0} \cdot i},$$

Aby móc wykorzystać do obliczeń wykresy podane na rys. 4 do 7 wzór na V_r przekształca się do postaci:

$$V_r = \frac{1}{i} \left\{ K[1 + E(j_0 - 1)] + N_0 \right\} - N \frac{1}{i(1+i)^{j_1}} = N_0 \cdot V_r' - N \cdot H(j_1),$$

przy czym
$$H(j_1) = \frac{1}{i(1+i)^{j_1}}$$

Wartość wielkości $H(j_1)$ odczytuje się z tabl. 1, w której są one podane dla j_1 od 1 do 60 i od 4% do 8%.

Przykład 2.

Obliczanie wartości rzeczywistej usług V_r w przypadku, gdy ich rozwój w czasie przebiega wg funkcji wykładniczej bez tendencji do nasycenia.

Funkcja rozwoju wartości usług jest w tym przypadku określona wzorem:

$$N_j = N_0 e^{\varepsilon j} = N_0 (1 + \eta)^j,$$

przy czym $e^{\varepsilon} = 1 + \eta$.

W przypadku kiedy okres użytkowania inwestycji jest nieograniczony (rys. 2a), wartość rzeczywistą usług oblicza się ze wzoru:

$$V_r = \sum_{j=0}^{\infty} N_j \cdot B(j)$$

$$V_r = N_0 \left[\frac{\left(\frac{1+\eta}{1+i} \right)^{j_0}}{i} + \frac{\left(\frac{1+\eta}{1+i} \right)^{j_0+1} - 1}{\left(\frac{1+\eta}{1+i} \right) - 1} \right]$$

Do obliczeń z wykorzystaniem wykresów pomocniczych wprowadza się wielkość względną V_r'' , określoną stosunkiem wartości rzeczywistej usług V_r za cały rozpatrywa-

$$H(j) = \frac{1}{1+(1+j)^j}$$

<i>j</i>	4%	4½%	5%	5½%	6%	6½%	7%	7½%	8%
1	24,038	21,265	19,048	17,234	15,723	14,436	13,351	12,403	11,574
2	23,114	20,349	18,140	16,335	14,833	13,564	12,478	11,538	10,717
3	22,225	19,473	17,278	15,483	13,994	12,736	11,661	10,733	9,923
4	21,370	18,635	16,454	14,677	13,201	11,959	10,898	9,994	9,188
5	20,548	17,832	15,670	13,911	12,454	11,229	10,185	9,287	8,507
6	19,758	17,064	14,924	13,186	11,749	10,543	9,519	8,639	7,877
7	18,998	16,330	14,214	12,499	11,084	9,900	8,896	8,037	7,294
8	18,267	15,626	13,537	11,847	10,457	9,296	8,314	7,476	6,753
9	17,565	14,953	12,892	11,230	9,865	8,728	7,770	6,954	6,253
10	16,889	14,309	12,278	10,644	9,306	8,196	7,262	6,469	5,790
11	16,239	13,693	11,693	10,089	8,780	7,695	6,787	6,018	5,361
12	15,615	13,104	11,137	9,563	8,283	7,226	6,343	5,598	4,964
13	15,014	12,539	10,606	9,065	7,814	6,785	5,928	5,207	4,596
14	14,437	11,999	10,101	8,592	7,372	6,371	5,420	4,844	4,236
15	13,882	11,483	9,620	8,144	6,954	5,982	5,178	4,506	3,940
16	13,348	10,988	9,162	7,720	6,561	5,617	4,839	4,192	3,649
17	12,834	10,515	8,726	7,317	6,189	5,274	4,522	3,899	3,378
18	12,341	10,062	8,310	6,936	5,839	4,952	4,227	3,627	3,128
19	11,866	9,629	7,915	6,574	5,508	4,650	3,950	3,374	2,896
20	11,410	9,214	7,538	6,231	5,197	4,366	3,691	3,139	2,682
25	9,378	7,394	5,906	4,768	3,883	3,187	2,632	2,186	1,825
30	7,708	5,933	4,827	3,648	2,902	2,326	1,877	1,523	1,242
35	6,335	4,761	3,626	2,791	2,168	1,698	1,338	1,061	0,845
40	5,207	3,821	2,841	2,136	1,620	1,239	0,954	0,739	0,575
45	4,280	3,066	2,226	1,634	1,211	0,904	0,680	0,515	0,391
50	3,518	2,460	1,744	1,250	0,905	0,660	0,485	0,358	0,256
55	2,891	1,974	1,366	0,957	0,676	0,482	0,346	0,250	0,182
60	2,376	1,584	1,071	0,732	0,505	0,352	0,246	0,174	0,123

wany okres eksploatacji do wartości usług świadczonych przez realizowaną inwestycję na początku pierwszego roku eksploatacji N_0 :

$$V_r'' = \frac{V_r}{N_0}$$

W celu sporządzenia wykresów pomocniczych V_r'' przekształca się do następującej postaci:

$$V_r'' = \frac{V_r}{N_0} = \frac{\left(\frac{1+\eta}{1+i}\right)^{j_0}}{i} + \frac{\left(\frac{1+\eta}{1+i}\right)^{j_0+1} - 1}{\left(\frac{1+\eta}{1+i}\right) - 1}$$

Wykresy w układzie V_r'' , j_0 układu się dla określonych wartości stopy dyskontowej i wykreśla się rodziny krzywych dla zmiennych parametrów wielkości η oraz $\frac{N}{N_0}$.

Wykresy dla wartości stopy dyskontowej i równej: 5,5%, 6%, 6,5% oraz 7% są przedstawione na rys. 8 do 11. Z wykresów tych można odczytać wartości V_r'' mając dane: j_0 i η lub j_0 i $\frac{N}{N_0}$, lub też η i $\frac{N}{N_0}$. Wykresy te umożliwiają również wyznaczenie wartości j_0 z danych η i $\frac{N}{N_0}$.

W przypadku, kiedy okres użytkowania inwestycji jest ograniczony, tj. okres eksploatacji trwa do roku j_1 (rys. 2b), wartość rzeczywistą usług za ten okres eksploatacji oblicza się ze wzoru:

$$V_r = \sum_{j=0}^{j_1} N_j \cdot B(j)$$

$$V_r = N_0 \left\{ \left(\frac{1+\eta}{1+i} \right)^{j_0} \cdot E(j_1 - j_0) + \frac{\left(\frac{1+\eta}{1+i} \right)^{j_0+1} - 1}{\left(\frac{1+\eta}{1+i} \right) - 1} \right\},$$

Aby móc wykorzystać do obliczeń wykresy podane na rys. 8 do 11 oraz tabl. 1, wzór na V_r przekształca się do postaci:

$$V_r = N_0 \cdot V_r'' - N \cdot H(j_1),$$

Przykład 3.

Obliczanie wartości rzeczywistej usług V_r w przypadku, gdy rozwój ich w czasie przebiega wg funkcji wykładniczej z tendencją do nasycenia.

Funkcja rozwoju wartości usług jest w tym przypadku określona wzorem:

$$N_j = a - K \cdot e^{-bj} = a - K \cdot (1 - \beta)^j,$$

przy czym:

$$a = N_0 + \frac{N_0 - N}{e^{-bj_0} - 1}, \quad K = \frac{N_0 - N}{e^{-bj_0} - 1}, \quad e^{-b} = 1 - \beta.$$

W przypadku, kiedy okres użytkowania inwestycji jest nieograniczony (rys. 3a), wartość rzeczywistą usług za nieograniczony okres jej eksploatacji oblicza się ze wzoru:

$$V_r = \sum_0^{\infty} j \cdot N_j \cdot B(j)$$

$$V_r = a \cdot \frac{B(j_0+1)-1}{B(1)-1} - K \frac{\left(\frac{1-\beta}{1+i}\right)^{j_0+1} - 1}{\left(\frac{1-\beta}{1+i}\right) - 1} + [a - K(1-\beta)^{j_0}] \cdot \frac{B j_0}{i}$$

W przypadku, kiedy okres użytkowania inwestycji jest ograniczony, tzn. okres jej eksploatacji trwa do roku j_1 (rys. 3b), wartość rzeczywistą usług za ten okres eksploatacji oblicza się ze wzoru:

$$V_r = \sum_0^{j_1} j \cdot N_j \cdot B(j)$$

$$V_r = a \cdot \frac{B(j_0+1)-1}{B(1)-1} - K \frac{\left(\frac{1-\beta}{1+i}\right)^{j_0+1} - 1}{\left(\frac{1-\beta}{1+i}\right) - 1} +$$

$$+ [a - K(1-\beta)^{j_0}] \cdot E(j_1 - j_0) \cdot B(j_0)$$

2. PRZYKŁADY BADAŃ EKONOMICZNYCH WYBRANYCH ZAGADNIEN TELEKOMUNIKACJI

2.1. Metoda wyboru optymalnej ilości central telefonicznej sieci wielkomiejskiej [6]

2.1.1. Wprowadzenie

Przy planowaniu rozbudowy lub budowy telefonicznej sieci wielkomiejskiej występuje zawsze problem określenia możliwie korzystnej ilości central oraz racjonalnej konfiguracji sieci linii międzycentralowych. Znane są i stosowane praktycznie różne metody prowadzące do rozwiązania tego problemu. Spośród nich wyróżniają się swoją dokładnością i kompleksowością ujęcia metody podane w licznych pracach z tego zakresu opublikowanych przez Y.Rappa [7].

Wszystkie te metody charakteryzują się bardzo obszernymi i skomplikowanymi obliczeniami, z wykorzystywaniem coraz częściej nawet maszyn matematycznych. Pociąga to za sobą wysokie koszty oraz dużą pracochłonność, co jest uzasadnione w przypadkach realizowania kosztownych z natury rzeczy inwestycji w zakresie rozbudowy i budowy telefonicznych sieci wielkomiejskich. W zakresie jednak samego programowania czy też planowania rozwoju telefonicznych sieci wielkomiejskich oraz wyboru najkorzystniejszych środków technicznych ich realizacji, stosowanie tak pracochłonnych i kosztownych metod optymalizacji wyboru rozwiązań sieci nie jest ani konieczne, ani celowe, ani też praktycznie możliwe.

W pracy niniejszej opieramy się na studium J. de Boera które prezentuje metodę określania optymalnej ilości central i konfiguracji sieci linii międzycentralowych w możliwie uproszczony sposób, bez potrzeby stosowania obszernych i pracochłonnych obliczeń.

2.1.2. Założenia przyjęte przy stosowaniu metody

Przy zastosowaniu omawianej metody zamiast rzeczywistego planu danego miasta z naniesionym planem sieci, lokalizacją central itp. posługuje się w badaniach odpowiednio skonstruowanym "modelem ideowym", dla którego zakłada się określony stan statyczny. Oznacza to, że nie uwzględnia się dynamiki wzrostu ilości abonentów telefonicznych w czasie, kolejności uruchamiania poszczególnych central, czy też budowy poszczególnych linii międzycentralowych itp. Konsekwentnie do tego zakłada się również, że całość nakładów inwestycyjnych zostaje wydatkowana jednorazowo w momencie czasu "0".

Analizę ekonomiczną przy zastosowaniu omawianej metody wykonuje się zatem na "ideowym modelu statycznym". W modelu tym przyjęto następujące założenia:

a. Obszar telefonicznej sieci wielkomiejskiej posiada kształt kwadratu o boku L km.

b. Liczba zakończeń na jednostkę powierzchni (albo gęstość telefoniczna) D jest jednolita na całym obszarze sieci.

c. Obszar sieci jest podzielony na szereg równych kwadratów ($C_m^2 \cdot C_s^2$), których ilość jest określona iloczynem $C_m^2 \cdot C_s^2$, przy czym wielkości C_m i C_s przyjmują wartości 1, 2, 3 ... (rys. 12a i b). Podział taki uzyskuje się przez podzielenie każdego boku L na $C_m \cdot C_s$ równych części. Każdy kwadrat spośród $C_m^2 \cdot C_s^2$ kwadratów stanowi obszar jednej centrali, z centralą zlokalizowaną w środku tego obszaru. Centrale te są końcowymi i posiadają własny ruch wewnętrzny. Będą one nazywane dalej centralami gwiazdowymi dla odróżnienia ich od central wielobocznych, o których mówi się poniżej.

d. C_s^2 obszarów central tworzą razem jeden rejon lub strefę. W sieci jest zatem C_m^2 takich rejonów. W każdym rejonie jest centrala tandemowa, która nie ma abonentów i której jedynym zadaniem jest przesyłanie ruchu między centralami; będą one nazywane centralami wielobocznymi. Każda z nich jest połączona z C_s^2 centralami gwiazdowymi w ich rejonie i z pozostałymi $C_m^2 - 1$ centralami wielobocznymi. Sieć linii łączących centrale wieloboczne stanowi wielobok zupełny. Współpracują one zawsze z tymi centralami gwiazdowymi, które umożliwiają najkrótsze połączenia wieloboczne.

Podział na rejony i obszary central jest ilustrowany przykładem na rys. 12a i b. Jednocześnie przyjmuje się następujące założenia dotyczące ruchu telefonicznego:

e. Obszar każdej centrali składa się z równych kwadratów zawierających stałą liczbę domów zwanych "blokami". Koszty ponoszone w każdym takim bloku na kable, aparaty

abonentów itp. są przyjęte za stałe, tj. niezależne od liczby central wielobocznych czy gwiazdowych.

f. Kable kładzie się na najkrótszych odległościach wzdłuż ulic, uwzględniając równoległo-prostopadły układ ulic w planie miasta.

Dla ilustracji połączenie między dwoma blokami jest pokazane na rys. 12c.

g. Uwzględniając wymagania co do tłumienności i oporności pętli, ustala się na danym obszarze takie odległości, które pozwalają wykorzystać różne ale jednolite w każdej sieci średnice żył w liniach sieci wielobocznej, liniach sieci gwiazdowych oraz liniach abonenckich.

h. Ruch wchodzący do obszaru lub wychodzący z obszaru sieci jest pomijany.

i. Suma ruchu przychodzącego i wychodzącego między poszczególnymi abonentami jest jednakowa.

j. Między każdymi dwiema połączonymi ze sobą centralami istnieją dwie odrębne wiązki łączy, jedna dla każdego kierunku ruchu.

k. Liczba łączy rozmównych w każdej wiązce w sieci wielobocznej i w sieci gwiazdowej jest zależna od wyznaczonego stopnia zdolności usługowej oraz powinna spełniać następujące wymagania:

- po pierwsze, wypełnienie wiązki powinno być niższe od wymaganej wartości η (np. 0.60) dla zabezpieczenia przed przeciążeniem,

- po drugie, liczba łączy nie powinna być nigdy niższa od 3 dla zabezpieczenia przed wpływem uszkodzeń.

Pary sygnalizacyjne w niniejszych rozważaniach zostają pominięte.

Przytoczone wyżej założenia są konieczne z uwagi na przyjęty stan statyczny wielkości obszaru sieci i występującej na nim gęstości telefonicznej.

Dynamikę rozwoju sieci, jaka występuje w praktyce, można uwzględnić przy stosowaniu niniejszej metody na drodze powtórzenia obliczeń dla różnych wartości L i D , charakteryzujących dane rozwojowe sieci wielkomiejskiej w różnych momentach czasu.

2.1.3. Obliczanie kosztu sieci

Stojący przed nami problem ekonomicznej optymalizacji wyboru można sformułować jako poszukiwanie takiej ilości central wielobocznych i gwiazdowych, która w danych warunkach wymaga najmniejszych nakładów na centra-
le i kable w sieci wielobocznej, sieci gwiazdowej i liniach abonenckich. Przy stosowaniu niniejszej metody za koszt można przyjąć wielkość określoną według wymagań jakiegokolwiek rachunku ekonomicznej efektywności, mimo że obliczenia mogą dać różne wyniki.

W studium niniejszym podano wzory do obliczania czterech składowych kosztu K na abonenta dla całej sieci. Tylko koszty, które zmieniają się z C_m lub C_s lub w zależności od obu tych wielkości zostały uwzględnione w K . Wzór na K zawiera następujące koszty szacunkowe: koszt

sieci wielobocznej K_m , koszt sieci gwiazdowej K_s , koszt kabli na obszarze centrali K_l (wszystkie trzy na kilometrolącze) oraz stały koszt centrali K_e , niezależny od wielkości centrali, i całkowity koszt centrali wynoszący $K_e + C \cdot n$. C jest kosztem dodatkowym centrali odnoszącym się do każdego abonenta, a n jest ilością abonentów centrali. Jeśli K jest wyrażone na przykład w jednostkach tych samych co K_m , to stosunek K/K_m można wyrażać przez funkcje C_m i C_s , które zawierają z kolei tylko stosunki tych różnych kosztów, np. K_s/K_m , K_l/K_m i K_e/K_m . Koszt C na abonenta nie wchodzi w zakres problemu optymalizacji.

2.1.4. Przykład obliczenia kosztu

Dla ilustracji wzoru na K/K_m , zależność od C_m i C_s została zbadana dla dwóch wybranych obszarów o różnych długościach boków i różnych wartościach ich parametrów. Zestawienie wszystkich zbadanych przypadków jest podane w tabl. 2, która jest ustalona dla boków o długości $L = 5$ km i $L = 10$ km. "a" w tej tablicy określa wielkość ruchu na abonenta w erlangach, a D ilość zakończeń linii abonenckich na kilometr kwadratowy. Krzyżykami oznaczono kombinacje wartości parametrów a i D , dla których koszty zostały określone za pomocą obliczeń.

W praktyce bardzo trudno określić liczbowe wartości zmiennych kosztów i dlatego tylko tutaj tytułem przykładu przyjęto do równań we wszystkich przypadkach:

$$K_s/K_m = 1, \quad K_l/K_m = 0,5, \quad K_e/K_m = 1000.$$

T a b l i c a 2

a	D = 800	2000	5000
0,0125		x	
0,025	x	x	x
0,05		x	

Dopuszczalne straty przyjęto we wszystkich przypadkach za równe 1%.

Następnie określono z tablic Erlanga ilość łączy dla wiązki łączy z ruchem A. Jeżeli wypadła z nich liczba łączy ze znacznym obciążeniem 0,60, przyjęto $10A/6$, zgodnie z pierwszym wymaganiem założenia podanego w pkt. k. Jeżeli wynikało z nich mniej niż 3 łączy, przyjęto liczbę 3.

Wyniki dla $L = 5$ km są podane na rys. 13 i 16, dla $L = 10$ km - na rys. 15 i 16. Rys. 17 podaje te same wyniki dla $D = 2000$ i $a = 0,025$, zestawione razem dla $L = 5$ i $L = 10$ km.

Wykresy składają się z oddzielnych punktów z powodu odrębnych wartości C_m^2 i C_s^2 oraz nie prezentują linii ciągłej ze względu na nieciągłość obliczonych wartości K.

Należy nadmienić, że charakterystyczne cechy prezentowanych wykresów zostały uwzględnione również we wnioskach.

2.1.5. Uproszczone obliczanie optymalnej ilości central

Uproszczone obliczenie optymalnej ilości central gwiazdowych (C_m^2 i C_s^2) przeprowadza się z założeniem takiego

ruchu w każdej wiązce łączy, przy którym obciążenie wypada nie większe niż 0,60.

Optymalną ilość central gwiazdowych oblicza się ze wzoru:

$$C_m^2 \cdot C_s^2 = L^2 \left(\frac{DK_L}{4K_e} \right)^{2/3} = ND^{-1/3} \left(\frac{K_L}{4K_e} \right)^{2/3}$$

Zgodnie z powyższym ilość abonentów przypadających na każdą centralę gwiazdową, tj. zajętość takiej centrali, oblicza się ze wzoru:

$$n = D^{1/3} \left(\frac{4K_e}{K_L} \right)^{2/3}$$

Wypada przy tym podkreślić, że analogiczne wzory są podane w metodzie opracowanej przez Y.Rappa, gdzie zostały wyprowadzone przy przyjęciu nieco innych założeń wyjściowych, niż w metodzie omawianej w niniejszym studium.

Wzory do obliczania wartości C_m^2 lub C_s^2 są niestety skomplikowane i wyprowadzenie ich podane jest w dalszej części studium.

Przy obliczaniu wartości C_m^2 lub C_s^2 przyjmuje się wielkość pomocniczą M równą:

$$M = L \left(\frac{DK_L}{4K_e} \right)^{1/3}$$

gdy

$$\frac{a}{\eta} \cdot \frac{K_s}{K_e} \left(\frac{K_s}{K_m} \right)^3 LN < 45,$$

$$C_m = 1, \quad a \ C_s = [M] \text{ lub } C_s = [M] + 1,$$

co zapewnia minimum wartości stosunku $\frac{K}{K_m}$.

$[M]$ jest przy tym największą liczbą całkowitą zawartą w przedziale ograniczonym wartością M .

Jeżeli

$$\frac{a}{\eta} \cdot \frac{K_s}{K_e} \left(\frac{K_s}{K_m} \right)^3 LN > 45,$$

należy obliczać K/K_m dla wszystkich wartości C_m i C_s z $C_m \cdot C_s \approx [M]$ oraz wybierać takie C_m i C_s , jakie dają najmniejsze K/K_m .

Zastosowanie omawianych zasad w obliczeniowym przykładzie daje wyniki usystematyzowane w tabl. 3. Liczba

T a b l i c a 3

Wartości optymalne C_m^2 i C_s^2

a		D = 800	2000	5000
L = 5 km	0,0125	-	1 x 9	-
	0,025	1 x 4	1 x 9	1 x 16
	0,05	-	1 x 9	-
L = 10 km	0,0125	-	1 x 36	-
	0,025	1 x 25	9 x 4	16 x 4
	0,05	-	36 x 1	-

lewa podanych iloczynów określa wartość C_m^2 , a prawa - C_s^2 .
Uproszczenia dla $C_m^2 \cdot C_s^2$ są oznaczone strzałkami na rys.

13 + 17.

Łatwo zauważyć, że stopień aproksymacji $C_m^2 \cdot C_s^2$ jest bardzo dobry.

2.1.6. Obliczanie kosztów sieci wielobocznej

Całkowite koszty sieci telefonicznej w układzie wielocentralowym składają się z czterech elementów: kosztów sieci wielobocznej, sieci gwiazdowej, linii abonenckich i central.

Można wykazać, że ogólną długość linii w sieci o układzie wielobocznym określa się ze wzoru:

$$L_m = \frac{LC_m}{3C_s} [2C_m (C_m + 1) \{ (C_m - 1)C_s - \delta \} - \delta (C_m^2 - 2C_m - 3\xi)]$$

gdzie $\delta = 0$, gdy C_s jest nieparzyste, a $\delta = 1$, gdy C_s jest parzyste oraz gdzie $\xi = 0$, gdy C_m jest parzyste, a $\xi = 1$, gdy C_m jest nieparzyste.

Wzór ten pozwala uwzględnić fakt, że każdy wielobok zawiera dwie wiązki łączy. Każda wiązka przesyła ruch $a \cdot N / C_m^4$ erlangów, przy czym:

a = ruch początkowy na abonenta w erlangach,

N = ilość abonentów na obszarze sieci ($= DL^2$).

Wprowadzając $B_w(A)$ = ilości łączy potrzebnych w wiązce dla ruchu A erlangów, gdzie w jest wartością dopuszczalnych strat, a K_m - kosztem na kilometrołącze sieci

wielobocznej, uzyskuje się wzór na koszt sieci wielobocznej:

$$B_{\omega} (a N / C_m^4) L_m K_m,$$

2.1.7. Obliczanie kosztów sieci gwiazdowej

Można udowodnić, że ogólną długość linii w sieci gwiazdowej określa się ze wzoru:

$$(L / C_m) (C_s^2 - 1 + \delta),$$

Ponieważ jest C_m^2 takich sieci, a każda wiązka łączy w tych sieciach przesyła ruch:

$$\frac{a N}{C_m^2 C_s^2} \cdot \frac{C_m^2 C_s^2 - 1}{C_m^2 C_s^2} \quad \text{erlangów,}$$

to w związku z tym koszt sieci gwiazdowej wynosi:

$$B_{\omega} \left(\frac{a N}{C_m^2 C_s^2} \cdot \frac{C_m^2 C_s^2 - 1}{C_m^2 C_s^2} \right) L (C_s^2 - 1 + \delta) C_m K_s$$

gdzie K_s - koszt na kilometrołącze sieci gwiazdowej.

2.1.8. Obliczanie kosztów linii abonenckich

Przyjmuje się, że na obszar centrali przypada q^2 bloków. Długość ogólna kabli z centrali do bloków jest wtedy równa:

$$\frac{1}{2} \frac{L}{C_m C_s} q^2 \quad \text{lub} \quad \frac{1}{2} \frac{L}{C_m C_s} (q^2 - 1),$$

zależnie od tego, czy q jest parzyste czy nieparzyste. Ilość par w kablu wynosi $N/C_m^2 C_s^2 q^2$, a ogólna ilość kilometrołączy na linię abonencką:

$$\frac{1}{2} \frac{L}{C_m C_s} q^2 \frac{N}{C_m^2 C_s^2 q^2} C_m^2 C_s^2 = \frac{LN}{2C_m C_s},$$

gdy q jest parzyste, albo

$$\frac{LN}{2C_m C_s} \cdot \frac{q^2 - 1}{q^2},$$

gdy q jest nieparzyste.

Jeżeli założy się $q \geq 4$, czynnik $(q^2 - 1)/q^2$ jest mniejszy od $(5^2 - 1)/5^2 = 0,96$. Z tego wynika, że pomijając $(q^2 - 1)/q^2$ popełnia się błąd nie większy od 4%, co mając na uwadze można korzystać ze wzoru $LN/2 C_m C_s$. Wprowadzając następnie przeciętny koszt K_1 kilometrołączy linii abonenckiej (przeciętny, ponieważ możliwe są różnice w wymiarach kabli) otrzymuje się wzór na koszt tych linii:

$$\frac{LN}{2C_m C_s} K_1,$$

Pomija się przy tym fakt, że K_1 jest z reguły funkcją rosnącą powierzchni obszaru centrali.

2.1.9. Obliczanie kosztów central

Oznaczając ilość abonentów centrali przez n , otrzymuje się koszt centrali równy $K_e + Cn$. To jest wartość przybliżona pomijająca różnice między poszczególnymi centralami (np. różnice występujące między centralami wielobocznymi i gwiazdowymi) oraz fakt, że przynajmniej jedna z central wielobocznych obsługuje również ruch międzymiastowy.

W omawianym problemie optymalizacji nie potrzeba rozpatrywać wielkości Cn , ponieważ ustalając sumę wszystkich central otrzymuje się CN , np. przyjęte za constans w poszczególnych badanych przypadkach. Dlatego koszt central oblicza się ze wzoru:

$$C_m^2 C_s^2 K_e + CN.$$

2.1.10. Obliczanie kosztów kompletnej sieci wielocentralowej

Wyrażając ogólny koszt na abonenta K , na przykład w tych samych jednostkach co K_m , otrzymamy:

$$\frac{K}{K_m} = \frac{1}{N} \left[B_\omega \left(\frac{a N}{C_m^4} \right) L_m + B_\omega \left(\frac{a N}{C_m^2 C_s^2} \cdot \frac{C_m^2 C_s^2 - 1}{C_m^2 C_s^2} \right) \cdot L (C_s^2 - 1 + d) C_m \frac{K_s}{K_m} + \frac{LN}{2 C_m C_s} \cdot \frac{K_l}{K_m} + C_m^2 C_s^2 \frac{K_e}{K_m} \right],$$

2.1.11. Uproszczone obliczanie ilości central wielobocznych i ilości central gwiazdowych

Aby obliczyć optymalne wartości C_m i C_s , należy przyjąć następujące trzy założenia i uproszczenia:

a. W każdej wiązce łączy występuje taki ruch, przy którym liczba łączy jest określona zgodnie ze stanem obciążenia zdefiniowanego w pierwszym wymaganiu założenia k. w rozdz. 2.1.2.

$$b. C_s^2 \gg 1, \text{ tak że } \frac{C_m^2 C_s^2 - 1}{C_m^2 C_s^2} \cdot \frac{C_s^2 - 1 + \mathcal{J}}{C_s^2} \approx 1,$$

c. Do wzoru podstawia się $\mathcal{J} = 0$, bez względu na wartość C_s .

Gdy obciążenie w każdej wiązce nie przekracza η

$$(0 < \eta < 1) \text{ to } B_\omega(A) = A/\eta$$

Stosując powyższe trzy założenia do K/K_m , otrzymujemy się:

$$\begin{aligned} \frac{K}{K_m} = \frac{1}{N} & \left[\frac{aN}{\eta C_m^2} \cdot \frac{2}{3} L(C_m^2 - 1) + \frac{aN}{\eta C_m} L \frac{K_s}{K_m} + \right. \\ & \left. + \frac{LN}{2C_m C_s} \cdot \frac{K_L}{2K_m} + C_m^2 C_s^2 \frac{K_e}{K_m} \right], \end{aligned}$$

Dla uzyskania dobrej aproksymacji uwzględniono C_m i C_s zmieniające się w sposób ciągły. Różniczkując równanie (1) względem C_s i przyrównując różniczkę do zera, otrzyma się:

$$\frac{dK/K_m}{dC_s} = 0 \text{ lub } -\frac{LN}{2C_m C_s^2} \cdot \frac{K_L}{K_m} + 2C_m^2 C_s \frac{K_e}{K_m} = 0$$

$C_m C_s$ może być wyznaczone z ostatniego równania:

$$C_m C_s = \left(\frac{LN}{4} \cdot \frac{K_L}{K_e} \right)^{1/3} = L \left(\frac{DK_L}{4K_e} \right)^{1/3},$$

lub

$$C_m^2 C_s^2 = \left(\frac{LNK_L}{4K_e} \right)^{2/3} = L^2 \left(\frac{DK_L}{4K_e} \right)^{2/3},$$

Aby znaleźć C_m , należy wyrugować C_s z równania (1) wykorzystując przy tym podane wyżej rozwiązanie, zróżniczkować je względem C_m i przyrównać różniczkę do zera. Po pomnożeniu uzyskanego wyniku przez wyrażenie $(K_m/2 K_e) C_m^3$, otrzyma się ostatecznie:

$$C_m^4 - \frac{1}{2} \frac{aNL}{\eta} \cdot \frac{K_s}{K_e} C_m + \frac{2}{3} \frac{aNL}{\eta} \cdot \frac{K_m}{K_e} = 0, \quad (3)$$

Jest to równanie czwartego stopnia względem C_m , które rozwiązuje się metodą numeryczną.

Równanie (3) daje się doprowadzić do postaci:

$C_m (G - C_m^3) = H$, gdzie G i H są stałymi dodatnimi, a człon po lewej stronie tego równania jest funkcją posiadającą kształt, jak na rys. 18.

Łatwo zauważyć, że równanie (3) nie ma pierwiastków rzeczywistych, jeżeli $3(G/4)^{1/3} < H$, lub - jak w rozpatrywanym przypadku:

$$3 \left(\frac{1}{8} \frac{aNL}{\eta} \cdot \frac{K_s}{K_e} \right)^{4/3} < \frac{2}{3} \frac{aNL}{\eta} \cdot \frac{K_m}{K_e},$$

lub

$$\frac{aNL}{\eta} \cdot \frac{K_s^4}{K_e K_m^3} < \frac{8^5}{36} \approx 45,$$

W takim przypadku lewy człon (3) jest < 0 , dla wszystkich wartości C_m , które można otrzymać wybierając

$$C_m = 1.$$

Jeśli

$$\frac{aNL}{\eta} \cdot \frac{K_s^4}{K_e K_m^3} > 45,$$

równanie (3) ma dwa pierwiastki rzeczywiste: C_{m1} , który jest $< (G/4)^{1/3}$ oraz C_{m2} , który jest $> (G/4)^{1/3}$.

Z tego wynika, że K/K_m dla C_m osiąga lokalne maksimum dla $C_m = C_{m1}$ i minimum (lokalne lub absolutne) dla $C_m = C_{m2}$.

Całkowite wartości C_m , które należy przyjąć, są następujące:

$$C_m = 1, \quad C_m = [C_m^2], \quad C_m = [C_m^2] + 1,$$

W praktyce wykorzystuje się przeto tylko największy rzeczywisty pierwiastek równania (3) i oblicza K/K_m dla trzech podanych wyżej wartości C_m .

Zastosowanie tych wzorów w przykładzie obliczeniowym prowadzi do wyników podanych w tabl. 4. Lewy czynnik po-

dany w tablicy iloczynów jest wartością C_m^2 , a prawy C_s^2 .

T a b l i c a 4

Aproksymacja optymalnych wartości C_m^2 i C_s^2

a		D = 800	2000	5000
L = 5 km	0,0125	-	1 x 9	-
	0,025	1 x 4	1 x 9	1 x 16
	0,05	-	1 x 9	-
L = 10 km	0,0125	-	1 x 36	-
	0,025	1 x 25	9 x 4	16 x 4
	0,05	-	16 x 1	-

Porównując wyniki z rys. 13 + 17 można zauważyć, że z wyjątkiem przypadku, w którym: $L = 10$, $a = 0,05$, $D = 2000$, wszystkie pozostałe są dobre.

Przypadek złego wyniku jest uzasadniony brakiem skojarzenia wartości C_m i C_s . Można to wykazać w ten sposób, że w danym przypadku $[C_{m2}] = 3$, podczas gdy minimum występuje, kiedy $C_m = 6$ (a $C_s = 1$) zamiast 1 lub 3 lub 4.

Aby mieć pewność zaleca się przeprowadzenie obliczenia K/K_m dla wszystkich wartości C_m i C_s z $C_m C_s \approx [M]$ i wybranie tych C_m i C_s , przy których K/K_m jest najmniejsze.

2.1.12. Wnioski

Z podanych przykładów i wzorów uproszczonego obliczania $C_m^2 \cdot C_s^2$ można wyciągnąć szereg następujących wniosków:

a. W większości przypadków podane wykresy posiadają dość wyraźnie określone minima.

b. Optymalna ilość central układu gwiazdowego ($C_m^2 C_s^2$) wzrasta wraz z D.

c. Optimum $C_m^2 \cdot C_s^2$ jest praktycznie niezależne od wielkości ruchu.

d. Koszt całkowity sieci na abonenta (K/K_m) maleje ze wzrostem D.

e. Koszt całkowity sieci na abonenta (K/K_m) wzrasta z wielkością ruchu.

Jeżeli chodzi jednak o określenie optimum, to trzeba zachować dużą ostrożność, która usprawiedliwiona jest nie tylko przez fakt, że wyniki obliczeń zależą od zastosowanej metody rachunku ekonomicznej efektywności, lecz także od wpływu różnych czynników, tutaj nie uwzględnionych, jak na przykład:

- dysponowanie bardziej dokładnymi współczynnikami kosztów niż szacunkowe, które wykorzystano w przykładach tego studium, a zwłaszcza w zakresie różnych rodzajów central,

- czynniki administracyjne i organizacyjne,

- standaryzacja typów kabli, budynków i pojemności central,
- peryferyjna lokalizacja centrali na obszarze jej sieci,
- rezerwy pojemności w centralach,
- niejednolite nasilenie ruchu na obszarze sieci.

Większość tych czynników wywiera wpływ w kierunku zmniejszenia ilości central. Wpływ tych różnych czynników na liczbę central zależy również od ich technicznych właściwości (np. systemy bezpośrednie lub pośrednie, elektromechaniczne lub elektroniczne).

2.2. Metoda wyboru optymalnych rodzin teletransmisyjnych systemów współosiowych

2.2.1. Wprowadzenie

Wymagania techniczno-ekonomiczne stawiane nowoczesnym systemom teletransmisyjnym stale się zaostrzają, niezależnie od tego czy przewiduje się ich wykorzystanie w sieciach krajowych czy międzynarodowych. Wymagania takie są aktualizowane przez CCITT i należy je uwzględniać przy rozpatrywaniu nowoczesnych urządzeń telefonii nośnej i nowoczesnych kabli współosiowych. Należy przy tym przeprowadzać systematyczne programowanie rozwoju nowoczesnych teletransmisyjnych systemów współosiowych z uwzględnieniem dwóch spraw zasadniczych:

- koncepcji technicznej przyszłych systemów,

- analizy parametrów ekonomicznych tych systemów, obejmującej również systemy obecnie znane.

Przeprowadzone w niniejszym studium rozważania w zakresie teletransmisyjnych systemów współosiowych powinny się przyczynić do ustalenia kierunków rozwoju systemów przyszłościowych dla ruchu dalekosiężnego. Dla uzyskania systematycznego przeglądu takich systemów przeprowadzono odpowiednie rozważania w zakresie krotności od 100 do około 100000 i dla pięciu wybranych typów torów współosiowych.

2.2.2. Ogólne założenia metody

W studium tym oparto się na porównaniu różnych koncepcji teletransmisyjnych systemów współosiowych, tj. uwzględniających systemy telefonii nośnej różnych krotności dla linii współosiowych i kable z różnymi torami współosiowymi, przystosowanymi do pracy tych systemów. Zbadano przy tym i określono ogólne wymagania ekonomiczne na nowe urządzenia takich systemów i ustalono, w jakim stopniu przy porównywaniu różnych koncepcji należy uwzględniać koszty eksploatacji i amortyzację urządzeń.

Obecnie trudno jest jeszcze dokładnie określić koszty eksploatacji urządzeń nowych systemów na kablach współosiowych, w których zastosowano nową technikę przesyłową, zdalne zasilanie wzmacniaków przelotowych itp. Do przeprowadzenia tych porównań niezbędne jest określenie parametrów ekonomicznych systemów nie wypróbowanych jeszcze w eksploatacji, dla których jednak opra-

cowano już koncepcję techniczną.

Można przypuszczać, że systemy opracowane w oparciu o analogiczne zasady techniczne powinny w praktyce charakteryzować się zbliżonymi kosztami ponoszonymi na nakłady inwestycyjne, eksploatację i amortyzację. Ponieważ parametry ekonomiczne systemu teletransmisyjnego zależą od jego krotności, dla różnych koncepcji systemów można porównywać ogólne koszty odniesione do jednego kanału, co nie powinno prowadzić do błędnych wyników, nawet przy pominięciu kosztów eksploatacji i amortyzacji.

Teletransmisyjny system współosiowy składa się z urządzeń końcowych z urządzeniami przemiany kanałowej i przemian grupowych, z urządzeń stanowiących wyposażenie traktu liniowego oraz z linii współosiowej. Często na trasie linii mogą występować punkty przełączeniowe grup wyposażone w urządzenia transferowe. Przy analizach ekonomicznych duże znaczenie ma wyjaśnienie, czy koszty urządzeń końcowych ewentualnie i urządzeń transferowych mogą być uwzględnione łącznie, czy też powinny być traktowane oddzielnie. Analizy te wykazują, że począwszy od krotności rzędu 100 i przy długości odcinków linii nie przekraczających długości 100 km, koszty urządzeń końcowych zależą praktycznie głównie od kosztów urządzeń przemiany kanałowej. Dlatego koszty urządzeń końcowych można dodać do ogólnych kosztów całego systemu jako pewien procent tych kosztów pominać, ze zrezygnowaniem z kalkulacji szczegółowych.

Przy obliczaniu kosztów linii i traktu liniowego, tj. kosztów budowy linii kablowej i kosztów wzmacniaków prze-

lotowych zostało uwzględnione stosowanie nowoczesnych zdalnie zasilanych tranzystorowych wzmacniaków przelotowych, zakopywanych do ziemi w specjalnych zasobnikach oraz słusność zastosowania takiej techniki również dla systemów o największych krotnościach.

Najważniejszą wielkością przy porównaniach ekonomicznych systemów teletransmisyjnych jest koszt kilometroląca przy stosowaniu urządzeń danego systemu. Dokładność obliczania wartości takiego kosztu zależy od stopnia prawdopodobieństwa realności przyjętych szacunkowo wartości poszczególnych urządzeń danego systemu.

Dla określenia charakterystyk systemów współosiowych w zależności od krotności i typu toru, stosuje się często dwie grupy wzorów uproszczonych. Pierwsza grupa dotyczy kosztu linii kablowej, druga odnosi się do 1 km kosztów urządzeń traktu liniowego, a więc przede wszystkim kosztów wzmacniaków przelotowych. W wielu przypadkach, uproszczenia te dają zadowalające wyniki, przy czym nie absorbują one nadmiernej ilości czasu. Jeżeli chodzi jednak o ocenę ekonomicznych parametrów systemów w ramach nowych koncepcji, wzory takie nie zapewniają dostatecznej dokładności. System współosiowy jest zespołem nazbyt kompleksowym, aby analiza ekonomiczna mogła opierać się na wykorzystaniu tylko wzorów uproszczonych. Dlatego przy kalkulacji kosztów całego systemu współosiowego, trzeba uwzględniać wszystkie składniki kosztów.

Ustalanie kosztów urządzeń znanych systemów jest proste, choć pracochłonne. Rozpatrywanie natomiast systemów

jeszcze nieeksploatowanych w praktyce jest zadaniem trudnym. Przedstawiona w tym opracowaniu metoda jest próbą rozwiązania powyższego zagadnienia na drodze ustalenia indywidualnie kosztów podstawowych elementów składowych systemu. Do tego niezbędne jest oczywiście posiadanie szkicowego projektu schematów, konstrukcji i funkcji ważniejszych zespołów niestosowanego dotąd systemu, a więc znajomość chociażby podstawowych parametrów konstrukcyjnych i techniczno-eksploatacyjnych systemów o krotnościach dotąd niestosowanych.

Dlatego rozważania ekonomiczne przyszłościowych systemów współosiowych zostały oparte o systematyczne badania koncepcji tych systemów z uwzględnieniem wymagań CCI w zakresie wyposażenia łączy oraz pasm transmitowanych w torze i długości odcinków wzmacniakowych. Wyniki odpowiednich obliczeń są podane w rozdz. 2.2.4.

2.2.3. Wybór typów linii współosiowych

Linie współosiowe normalnowymiarowe 2,6/9,5 mm i linie współosiowe małowymiarowe 1,2/4,4 mm zostały uzupełnione od strony małych wymiarów przez jeden typ, a od strony dużych wymiarów - przez dwa typy linii współosiowych i to w ten sposób, że średnice wewnętrzne przewodów zewnętrznych kolejnych typów linii zmieniają się praktycznie w stosunku 1:2. Właściwości tych typów linii zestawiono na rys. 19. W lewej rubryce podano dla porównania właściwości klasycznej linii z torami symetrycznymi, uwielokrotnionymi zestrojami systemu 120-krot-

nego. Dla torów 1,2/4,4 przewidziano zgodnie z CCITT systemy 300, 900 ewentualnie 1260-krotne, stosowane już w niektórych krajach. Klasyczny tor normalnowymiarowy u-wielokrotnia się systemem 960-krotnym, a ostatnio 2700-krotnym (CCI), ewentualnie 3600-krotnym (ATT). Tor 11/41 (tzw. "rura europejska") jest od pewnego czasu uwzględniany przy systematycznych programowaniach rozwoju niektórych sieci. Dla racjonalnego uzupełnienia szeregu wprowadzono jeszcze tor współosiowy 5,5/20. Okazał się on niezbędny z racji potrzeby systematyki badań. Dla zastąpienia niestabilnych przesłuchowo torów symetrycznych został wprowadzony do rozważań najcieńszy tor współosiowy 0,6/2,2. Przewiduje się możliwość wykorzystania takich torów dla systemów na bliskie odległości.

Rysunek 19 podaje również, jakie założenia przyjęto odnośnie liczby kabli w linii, tj. czy stosować linie: jednokablową czy też dwukablową, a zatem czy system jednotorowy-różnokanałowy czy też dwutorowy-jednakokanałowy. W ostatnim wierszu podano liczbę torów w kablu, jaka została wybrana do rozważań w wyniku analizy techniczno-ekonomicznej.

2.2.4. Koncepcje teletransmisyjnych systemów współosiowych

2.2.4.1. Zagadnienia ogólne. Do oszacowania kosztów wzmacniaka przelotowego są potrzebne niektóre podstawowe dane, do jakich poza liczbą transmitowanych kanałów należy szerokość i położenie pasma przesyłanego w skali

częstotliwości. Inne założenia można przyjmować z zaleceń i z wymagań CCI podanych w Księdze Czerwonej i Niebieskiej - tom III. W przypadku wzmacniaków przelotowych w systemach o krotności ponad 2700, główną rolę odgrywają podzespoły, przede wszystkim tranzystory, technika schematowa oraz konstrukcja. Ich wpływ na koncepcję nowego systemu współosiowego nie był dotąd wyczerpująco zbadany i dlatego rozwiązanie tego problemu stanowi główne zadanie niniejszego studium. Również znajomość parametrów torów współosiowych jest tylko teoretyczna. Ponieważ jednak znane są w praktyce typy linii analogicznego rodzaju, jak podane na rys. 19, odpowiednie dane są możliwe do ustalenia. Tym samym możliwe jest obliczenie racjonalnych długości odcinków wzmacniakowych, a więc i liczby wzmacniaków przelotowych.

2.2.4.2. Wybór ilości oktaf pasma liniowego. Szerokość pasma przesyłanego w linii zależy od liczby czterokilohercowych kanałów rozmównych oraz liczby i szerokości luk między grupami tych kanałów. Konieczne jest więc określenie szerokości pasma liniowego B oraz jego położenia w skali częstotliwości, możliwie najkorzystniejszego pod względem transmisji na danym typie toru współosiowego. Największa częstotliwość Ω pasma liniowego określa - poza innymi czynnikami - długość odcinka wzmacniakowego i tym samym liczbę wzmacniaków na długości łącza odniesienia. Jest ona odwrotnie proporcjonalna do liczby przesyłanych oktaf n . Obniżenie największej czę-

stotliwości pasma liniowego dopuszcza pewne wydłużenie odcinka wzmacniakowego, przy tym jednak zwiększa się liczba oktaów, ponieważ pasmo liniowe zostaje przesunięte w stronę mniejszych częstotliwości. Z wykresów na rys. 20 i 21 można odczytać odpowiednie współzależności, przy czym naniesiono wartości dotyczące systemów obecnie stosowanych. Poza ilością oktaów n , jaka wpływa na długość odcinków wzmacniakowych w analizie, wprowadza się współczynnik niewykorzystania pasma v określony stosunkiem najmniejszej częstotliwości pasma liniowego U do szerokości tego pasma B . Wielkości n i v zostały przyjęte na wskaźniki znamionowe. Pozostają one w ścisłym związku ze względną szerokością pasma b , stosowaną w technice czwórników.

$$n = \lg \frac{0}{U} \quad \left. \begin{array}{l} 0 \text{ największa} \\ U \text{ najmniejsza} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{częstotliwość prądu} \\ \text{przesyłanego w torze} \end{array}$$

$$v = \frac{U}{B} \quad \begin{array}{l} B \text{ szerokość pasma przesłanego w} \\ \text{torze} \end{array}$$

$$b = 2^{n/2} - 2^{-n/2} = \sqrt{\frac{v+1}{v}} - \sqrt{\frac{v}{v+1}}.$$

Na rysunku 20 nad krzywą współczynnika niewykorzystania pasma v jest wykreślona krzywa ilości oktaów n . Zawiera ona punkty określone dla znanych systemów, jak i głównych grup CCI. Łatwo zauważyć, że punkty dla róż-

$$x) \lg = \lg_2$$

nych systemów są od siebie odległe, co jest wynikiem tradycji i nie jest obecnie uzasadnione racjonalnym programowaniem systemów. Szczególnie system V-1260 (60 do 5700 kHz) charakterystyczny 6,6 oktavami powoduje ostre wymagania na rozkład wzmacniaków przelotowych.

Dla oceny zależności przyjęto przesunięcie pasma liniowego B o szerokość Δ w kierunku większych częstotliwości. Na rysunku 20 uwzględniono względne przesunięcie $\delta = \frac{\Delta}{f} = 0,1$ (10%).

Powyższe oznaczają w pierwszym przybliżeniu zwiększenie tłumienności odcinka wzmacniakowego o 5%, a zatem zwiększenie ilości wzmacniaków przelotowych również o 5%. Zmniejszenie w pewnym zakresie liczby oktav jest korzystne. Np. dla V-1260 ilość oktav powinna być zmniejszona z 6,6 na 2,7. Jest oczywiste, że występuje tutaj pewien kompromis pomiędzy ułatwieniem budowy wzmacniaków a zwiększeniem ich liczby, jaki dyktują względy ekonomiczne. Można także zauważyć, że małe przesunięcie w przypadku podwyższonego wykorzystania pasma znacznie łagodzi wymagania na wzmacniaki.

Pokazano to na rys. 21, gdzie zostało wykreślone względne przesunięcie pasma liniowego δ , przy założeniu zmniejszenia liczby oktav o jedną oktawę. Dla rozpatrywanego systemu 1260-krotnego operacja ta powoduje dwukrotny wzrost strat, tj. najmniejsza częstotliwość pasma liniowego zmienia się z 60 kHz na 120 kHz. Te dodatkowe 60 kHz oznacza dla największej częstotliwości pasma wzrost o około 1%, a tym samym wzrost tłumienności odcinka wzmacniakowego o 9,5% i taki sam wzrost lic-

by wzmacniaków. W tym wypadku złagodzenie wymagań na wzmacniaki jest bardziej celowe niż znikoma strata ze wzrostu ich liczby.

Poza tym należy dodać, że tłumienność przesłuchowa między torami współosiowymi maleje począwszy od około 100 kHz, co również przemawia przeciwko zawyżeniu stopnia wykorzystania pasma transmitowanego. Ograniczenie liczby oktaf wypada stosować w rozpatrywanych systemach największych krotności, których pasma robocze sięgają rzędu 100 MHz. Z uwagi na położenie największej i najmniejszej częstotliwości pasma liniowego (tłumienie toru, ilość wzmacniaków) oraz najkorzystniejszy eksploatacyjnie rozkład wzmacniaków, optymalną wartość uzyskuje się przy stosowaniu liczby 4 do 5 oktaf.

2.2.4.3. Przemiany grupowe. Pasma liniowe jest formowane w urządzeniach przemian grupowych (przesuwnikach częstotliwości), przy czym tworzą się wiązki o wzrastającej liczbie kanałów. W zależności od liczby przenoszonych kanałów, CCITT zaleca stosowanie następujących wiązek kanałów:

podstawową grupę pierwotną B (GPGB)

12 - kanałów rozmównych 60 do 108 kHz

podstawową grupę wtórną (GSG)

60 - kanałów rozmównych 312 do 552 kHz

podstawową grupę trójną (GTG)

300 - kanałów rozmównych 812 do 2044 kHz

podstawową grupę czwórną (GGG)

900 - kanałów rozmównych 8516 do 12388 kHz.

Na przykład system 960-krotny (rys. 22) jest zbudowany z 16 grup wtórnych ułożonych w pasmo liniowe 60 do 4028 kHz (zalecenie G.332 CCITT - Księga Czerwona tom III). W różnych krajach produkuje się systemy wprawdzie analogicznych typów, ale o różnych planach przemian grupowych, co zmusza CCITT do przyjmowania wielu schematów takich przemian (np. dla systemów 2700 lub 1260-krotnych). Mimo to schematy przyjęte w USA różnią się od schematów CCITT. Przy połączeniach międzynarodowych fakt ten zmusza do stosowania dodatkowych urządzeń przemian grupowych w stacjach końcowych lub odgałęźnych. Systematyczne programowanie w przyszłości może zapewnić liczne korzyści z racjonalnych schematów przemian grupowych.

Należy zauważyć, że systemy w miarę lat muszą być rozbudowywane na coraz to większe krotności, a zatem należy zapewnić możliwość sukcesywnej ich rozbudowy. Próba zbudowania ze wszystkich znanych elementów w sposób systematyczny systemów najwyższych krotności, aż do rzędu 100000, jest trudna. Dlatego dokonano obliczeń piramidy przemian grupowych systemów. Według takich piramid system większej krotności powstaje ze zwielokrotnienia systemu mniejszej krotności, przy czym - według znanych zasad ekonomicznego formowania grup - grupy wyższego rzędu powstają z 3, 4 lub 5 grup niższego rzędu. W pierwszych klasycznych próbach decydowano się na utrzymywanie grup, ponieważ dawało to optimum liczby typów filtrów i przemienników. Obecnie istnieje tendencja do wspólnej przemiany większej liczby kanałów lub niższych grup na grupy wyższego rzędu, np. tworzy się grupę wtór-

na z 5 grup pierwotnych. Powyższe ma na celu uzyskanie przy małej liczbie przemian dużej liczby przesuniętych kanałów. Ponieważ każda przemiana wnosi szumy, bilans szumów jest wtedy korzystniejszy, zwłaszcza gdy występuje potrzeba odgałęziania i przełączania z przemianą na trasie. Inną możliwość poprawienia bilansu szumów uzyskuje się przy odgałęzianiu za pomocą odpowiednich filtrów bezpośrednio z pasma liniowego (transfer). Należy stosować obie możliwości przy formowaniu kanałów w pasmo liniowe i odwrotnie, mając jednak zawsze na względzie ekonomiczną efektywność rozwiązania zagadnienia.

Na rysunku 23 pokazano jako przykład formowanie pasma liniowego z grup czwórných. Pasma liniowe BI systemu I formuje się z jednej podstawowej podgrupy GIG = IG2 razem z 3 przesuniętymi podgrupami, IG1, IG3 i IG4. Pasma liniowe nie powinno zawierać więcej niż 5 oktaw. Grupa podstawowa rozciąga się nieco ponad jedną oktawę; jest to ważne z uwagi na zakłócenia powodowane przesuwaniem. Cztery podstawowe podgrupy dają jedną podstawową nadgrupę GIIG, która ze swojej strony jest punktem wyjścia do pasma liniowego BII systemu II. W ten sposób powstaje system teletransmisyjny wysokiej krotności z poprzedniego o niższej krotności. Dalsze zadanie wynika z tego, że ilość grup i całkowita ilość kanałów systemu musi zapewniać ze względu na wymagania nowoczesnego projektowania możliwie korzystne ekonomicznie uwielokrotnienie przewidzianego typu kabla współosiowego. Należy zauważyć, że dalsza rozbudowa już eksploatowanego systemu na większą krotność jest możliwa dzięki racjonalnemu pro-

jektowaniu formowania grup, tak, że system II uzyskuje się łatwo przy pomocy GII G.

Następny krok w projektowaniu dotyczy wyboru szerokości luk między grupami. Ma on wpływ na ekonomikę gospodarowania pasmem częstotliwości i określa tym samym największą częstotliwość transmitowaną, co posiada tak duże znaczenie. Wybór szerokości luk ma poza tym wpływ na możliwość odgałęziania bloków kanałów.

Przy ustalaniu schematu A na rys. 23 uwzględniono dalsze wykorzystanie pasma częstotliwości.

W wariancie tym można odgałęziać tylko grupy 1 i 2 (szerokość luk Δ_0). Inne grupy są oddzielone od siebie węższymi lukami.

Natomiast przy schemacie B wszystkie cztery grupy pasma liniowego mogą być odgałęziane (szerokość luk Δ_0). Następnie występuje tutaj między grupą 4 i grupą 5, jaka stanowi pierwszą grupę do formowania następnej nadgrupy, przewidziana szeroka luka Δ^* . Jest ona potrzebna w przypadku, gdy przewiduje się późniejszą rozbudowę pierwotnego systemu przy pomocy grupy 5 itd.

Według omówionych tutaj założeń zostały przeliczone plany częstotliwości rozmaitych rodzin teletransmisyjnych systemów współosiowych, przy czym zmieniano także liczbę grup na jedną przemianę w granicach od 3 do 5. Dokładniejsze informacje o dokonanej analizie nie mieszczą się już w ramach niniejszego studium. Przedstawione zostaną tylko wyniki przypadku wg schematu B ocenianego jako korzystny, aby dać możliwość rozeznania ogólnego wpływu różnego rodzaju założeń.

W stadium tym rozpatrzono systemy I (pojedynczo podkreślone) i systemy II (podwójnie podkreślone) jednej rodziny systemów. Z tego wynika już łatwo budowa dalszych systemów. Szerokość pasma jednej grupy oznaczono przez G , jednego pasma liniowego - przez B , najmniejszą częstotliwość przesyłową grupy - przez U , największą - przez O . Pasma liniowe BI dla wybranego przykładu formowania grup czwórných z podstawowych grup GIG (G') osiąga się w systemie I od U_1 do O_4 . Transmitowane zatem będzie pasmo o liczbie oktaów:

$$n' = \lg \frac{O_4'}{U_1'} \quad *)$$

Podstawowa nadgrupa GIIG (G'') systemu II jest formowana z grup IG5 do IG8, przy czym musi być:

$U_5' = U_2''$ i $O_8' = O_2''$, ponieważ GIIG ma być transmitowana jako 2. grupa IIG2 nowego systemu.

Obliczenia odnosi się celowo do GIG. Ważniejsze częstotliwości występujące przy tym są następujące:

$$U_1' = aG', \quad O_4' = bG', \quad B' = cG' = (b - a)G',$$

$$U_5' = U_2'' = dG', \quad O_8' = O_2'' = eG', \quad G'' = fG' = (e - d)G',$$

$$n' = \lg \frac{O_4'}{U_1'} = n'' = \lg \frac{O_4''}{U_5'} = \lg \frac{b}{a},$$

$$\mathcal{J}_0 = \frac{\Delta_1}{O_1} - \frac{\Delta_2}{O_2} - \frac{\Delta_3}{O_3}, \quad \mathcal{J}^* = \frac{\Delta^*}{O_4}, \quad \mathcal{J} = \frac{\Delta_5}{O_5} - \frac{\Delta_6}{O_6} - \frac{\Delta_7}{O_7},$$

$$*) \lg = \lg_2$$

$$a = \frac{2\sigma_0 + 4\sigma_0^2 + 4\sigma^* + 6\sigma_0\sigma^* - (18\sigma + 36\sigma_0\sigma + 12\sigma^*\sigma)}{3 + \sigma_0 + 21\sigma + 45\sigma_0\sigma + 15\sigma^*\sigma - (3\sigma_0^2 + \sigma^* + 3\sigma_0\sigma^*)},$$

$$c = 4 + 6\sigma_0 + 4\sigma_0^2 + a(3\sigma_0 + 3\sigma_0^2),$$

$$f = 4 + 18\sigma + 18\sigma_0\sigma + 12\sigma^*\sigma + a(3\sigma + 9\sigma_0\sigma),$$

Potrzebna jest jeszcze pewna kontrola przemiany grupy 1. Jeżeli Δ_T jest odstępem fali nośnej T_1 od największej częstotliwości pasma liniowego 0_2 grupy podstawowej, to:

$$\sigma_T = \frac{\Delta T}{T_1} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{a}{2 + a + \sigma_0 + a\sigma_0},$$

Wielkość σ_T powinna mieć wartość co najmniej $\sigma_0/2$.

Odpowiednie wartości częstotliwości dalszych systemów otrzymuje się przez pomnożenie przez f także gdy m jest liczbą stopni modulacji równą numerowi systemu w rodzinie systemów,

to dla systemu M : $U_1^{(m)} = f^{(m-1)} \cdot a G'$ itd.

System ten może pomieścić

$$Z^{(m)} = g^m \cdot z' \text{ kanałów,}$$

gdzie $g = 4$ jest liczbą grup na stopień modulacji a z liczbą kanałów grupy początkowej (z której uformowano grupy systemu M).

Aby uzyskać wpływ na ekonomiczne wykorzystanie pasma częstotliwości przez rodzinę systemów, należy rozpocząć kalkulację od szerokości brutto k kanału rozmównego. Wartość ta okazała się podstawowym współczynnikiem przy dalszych analizach ekonomicznych, przy czym wylicza się ją z następujących zależności:

$$k_0 = \frac{G'}{Z'} \geq 4 \text{ kHz}$$

$$k_m = \frac{k_0}{4} \cdot \left(\frac{f}{g}\right)^{m-1} \text{ kHz}$$

Przy ocenie schematu częstotliwości danego systemu niezbędne jest rozróżnienie dwóch rodzajów szerokości pasma kanału brutto, a mianowicie jednej odniesionej do pasma liniowego (k_1) i drugiej - odniesionej do największej częstotliwości pasma liniowego (k_2):

$$k_1 = \frac{B}{Z} = c \cdot k_m > 4 \text{ kHz}, \quad k_2 = \frac{0_4}{Z} = b \cdot k_m > 4 \text{ kHz},$$

przy czym k_1 informuje o stopniu występowania luk w paśmie liniowym, a k_2 o położeniu pasma liniowego w skali częstotliwości. Szerokość pasma kanału brutto wzrasta wykładniczo z liczbą stopni modulacji i jest przede wszystkim zależna od współczynnika f , w którym zawarta jest skuteczna szerokość luki σ występująca przy formowaniu nadgrup.

Trzy przykłady obliczeniowe, których wyniki są podane na rys. 24, wyjaśniają podane wyżej zależności. W tych przykładach została wykorzystana pierwsza podstawowa grupa GIG z 300 kanałami rozmównymi. Jeśli się chciało zastosować plan częstotliwości CCITT, wtórne grupy CCITT 7 do 11 (1556 do 2788 kHz) musiałyby być formowane w GIG. Wartość G wynosi przy tym 1232 kHz, a wartość k_0 :

$$k_0 = \frac{1232}{300} = 4,1 \frac{\text{kHz}}{\text{kanał rozmówny}}.$$

Przy wyborze szerokości luk można oprzeć się na dwóch metodach:

Luki między grupami, jakie mają być odgałęziane bezpośrednio z pasma liniowego, muszą z uwagi na zasady techniki filtrowania być większe od tych, które służą tylko do oddzielania od siebie przesuniętych grup. Teoretycznie zależności dla różnych zakresów częstotliwości są równoważne, jeśli zostanie utrzymana stała procentowa szerokość luk. W praktyce jednak należy mieć na uwadze obniżanie się dobroci i stabilności częstotliwościowej elementów konstrukcyjnych filtrów (chodzi o stabilność właściwości przy określonych częstotliwościach np. w czasie). Dla takich rozważań wystarczy jednak przyjęcie racjonalnej wartości średniej, aby nie komplikować zbytnio obliczeń. Praktycznie przyjęto dla luk przy odgałęzianiu σ_0 i σ^* około 10%, a dla luk odstępowych między grupami $\sigma = 1\%$; wartość $\sigma = 3\%$ służy tylko do porównań.

Dla schematu formowania A podany został przykład A_1 i A_2 :

Przykład A_1 z $\sigma_0 = 0,1$ i $\sigma = 0,01$:

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= 4,52 \cdot 1,054^{m-1} \\ k_2 &= 4,72 \cdot 1,054^{m-1} \end{aligned} \right\} \text{ w kHz}$$

Przykład A_2 z $\sigma_0 = 0,1$ i $\sigma = 0,03$:

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= 4,55 \cdot 1,16^{m-1} \\ k_2 &= 4,70 \cdot 1,16^{m-1} \end{aligned} \right\} \text{ w kHz.}$$

Przykład B dla schematu formowania B z $\sigma_0 = 0,1$; $\sigma^* = 0,12$ i $\sigma = 0,01$:

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= 4,83 \cdot 1,054^{m-1} \\ k_2 &= 5,0 \cdot 1,054^{m-1} \end{aligned} \right\} \text{ w kHz.}$$

Krzywe dla A i B odbiegają od siebie nieznacznie.

Punkty selektywne dla znanych systemów CCITT leżą blisko siebie. Natomiast w przypadku przykładu A_2 wymagana szerokość pasma szybko rośnie. Z tego wynika wniosek, że przy formowaniu podstawowych nadgrup szczególnie ekonomiczne jest wybranie możliwie małej wartości σ (1%).

Krzywe dla A_1 i B można wykorzystać również do dalszych rozważań. Obliczenia kontrolne wykazały, że dla dłuższych odcinków odniesienia potrzebna liczba wzmac-

niaków przelotowych dla dowolnego systemu waha się około 2%, w zależności od tego, czy w obliczeniach uwzględniono wartości odczytane z jednej czy też z drugiej pary krzywych. Także dla innych rodzajów modulacji do formowania grup wartości leżą w tych samych granicach. Tym samym przy wykorzystaniu krzywych A1 lub B mogą być analizowane pasma liniowe dowolnych systemów o liczbie kanałów przekraczającej 300, co dla dalszych rozważań ekonomicznych przedstawia duże ułatwienie oraz daje możliwość wnikliwej analizy.

Jeżeli natomiast mamy zbadać określone schematy częstotliwości przemian grupowych, to stosuje się wzory dla najmniejszej i największej częstotliwości pasma liniowego. Jeśli są przy tym przeliczone grupy dla założonego systemu, to ich plany częstotliwości można dopasować do częstotliwości ustalonych przez CCITT wyłącznie przy pomocy przynależnych im częstotliwości prądów nośnych. Próby wykazały, że szczególnie dobrze nadają się do tego wielokrotności 124 kHz. Można następnie uzyskać zgodność nowego systemu dużej krotności z systemami CCITT, co najmniej aż do grup wtórnych, bez konieczności formowania piramidalnego.

2.2.4.4. Optymalizacja długości odcinków wzmacniakowych. Trudne problemy rozstawienia wzmacniaków szerokopasmowych będą uwzględnione w takim tylko stopniu, w jakim jest to potrzebne do obliczania długości odcinka wzmacniakowego l_a . Tego rodzaju problemy, jak zasady regulacji i poziomu, zagadnienia korekcji i zasilania zdal-

nego, chociaż zostały wzięte pod uwagę nie mogły tutaj być bliżej rozpatrzone.

Przy obliczeniach długości odcinków wzmacniakowych duże znaczenie posiada znajomość sumy sygnałów wzmacnianych przez wzmacniacz, jak i szumów dopuszczalnych dla ruchu dalekosiężnego. W tym zakresie CCITT podaje cenne wskazówki w swoich zaleceniach G.222 (Księga Czerwona względnie Niebieska III). Średni absolutny poziom mocy szumu sygnałów nośnych, jaki odpowiada obciążeniu wzmacniaka statystyczną zajętością przez Z kanałów rozmównych, daje się obliczyć przy wykorzystaniu badań Holbrooka i Dixona z wzoru:

$$p = -1,73 + \frac{1}{2} \ln Z \quad \text{w Nm0} \quad \text{przy } Z \geq 240.$$

Założono przy tym średnią moc psfometryczną sygnałów mowy w kanale rozmównym jako równą 32 μW odpowiednio do $-1,73 \text{ Nm0}$, przy odchyleniu standardowym $\sigma = 0,35\text{N}$. Odchylenie uwzględnia także różnice głośności różnych rozmówców oraz długość linii miejscowych.

Równoważny poziom skuteczny p_{rq} sygnału sinusoidalnego względem wartości szczytowej sumy sygnałów leży około 1,43 N ponad jej wartością średnią. Przy tym przyjmuje się odchylenie standardowe $\sigma = 0,67 \text{ N}$. Podane wartości obowiązują dla przemienników kanałowych bez ograniczników amplitudy. Jeśli są przewidziane zwykłe ograniczniki amplitudy, to zmniejszą się wartości szczytowe. Na przykład dla 300 kanałów poziom szczytowy zmaleje w tym ostatnim przypadku o około 0,14 N. W miarę wzrostu liczby kanałów różnicę coraz bardziej można pominąć.

Jeśli zastosuje się preemfazę dla górnej części pasma liniowego, to średni poziom sumy sygnałów (i poziom szczytów) obniży się, wzmacniak będzie zatem mniej obciążony i zależności intermodulacyjne korzystniejsze. W zależności od stopnia preemfazy odstęp od średniego poziomu sumy sygnałów może być odpowiednio duży. Tutaj przyjęto wartość średnią $\Delta_s = 0,56$ N odpowiadającą preemfazie o około 1,1 N.

Poziom wysterowania odniesiony do 1 mW jest według zaleceń CCITT osiągnięty wtedy, kiedy podwyższenie sygnału wejściowego wzmacniaka o 0,1 N powoduje wzrost poziomu zakłócającego trzeciej harmonicznej o 2,3 N. Mając na względzie rozwój jakości tranzystorów mocy na bardzo szerokie pasma, przeprowadzono obliczenia dla poziomów wysterowania $p_A = +2,0$ Nm0, $+2,2$ Nm0 i $+2,4$ Nm0.

Dla zagadnień szumów CCITT ustaliło umyślane łącze odniesienia o długości 2500 km. Dla samych traktów liniowych, a więc bez urządzeń końcowych i inwersji na stacjach wzmacniakowych, średnia psfometryczna moc szumów na wyjściu kanału rozmównego podczas godziny największego ruchu (w GNR) nie powinna przekroczyć 7,5 nW. Daje to całkowitą moc szumów nie większą od 3 pW na jeden kilometr traktu liniowego, dzieloną na 3 części: szum termiczny, szum intermodulacyjny i szum przesłuchowy.

Ponieważ w liniach koncentrycznych w praktyce przesłuch można pominąć, przyjęto w obliczeniach dopuszczalną moc szumów termicznych 2 pW/km, a dopuszczalną moc szumów intermodulacyjnych 1 pW/km. Założono następnie,

że stopień wejściowy wzmacniaka podwyższa poziom szumów o 0,7 N.

Do tych wytycznych i założeń dochodzą wartości tłumienności przewidzianych torów współosiowych. Praktyczna formuła wzrostu tłumienności z \sqrt{f} została tutaj uzupełniona przez dodanie członu f dla częstotliwości większych od 10 MHz, który uwzględnia wpływ strat dielektrycznych w izolacji. Mając następnie na względzie rezerwy wzmocności, dla uniknięcia wpływów błędów regulacji poziomów i korekcji, niedokładnego ustawienia poziomu nadawanego w tor oraz innego rodzaju wpływów zmniejszających jakość pracy systemu, można długość odcinka wzmacniakowego obliczać ze wzoru:

$$l_a = \frac{A}{B - \frac{1}{\frac{1}{n} \frac{1}{a}}} \text{ w km, przy czym:}$$

$$A = 11,5 N + 2p_A - l_n Z \text{ w N,}$$

$$B = 2(\alpha_1 \sqrt{k_2 Z} + \alpha'_1 k_2 Z) \text{ w N/km,}$$

gdzie:

α_1 - tłumienność jednostkowa toru współosiowego przy 1 MHz wg rys. 19,

$$\alpha'_1 \approx 2 \cdot 10^{-3} \text{ N/km,}$$

k_2 - funkcja liczby kanałów Z wg rys. 24 (tutaj w MHz).

Podane równanie rozwiązano prosto metodą iteracyjną, przez wykorzystanie podanej na rys. 25 krzywej

$$\frac{1 \cdot 1}{\frac{n \cdot a}{1 \cdot a}} = \text{funkcja } (1 \cdot a).$$

W podany wyżej sposób zostały obliczone krzywe podane na rys. 26, określające długości odcinków wzmacniaczkowych dla 5 typów torów współosiowych w przedziale krętości systemów od 100 do 100000.

2.2.5. Analiza różnych koncepcji teletransmisyjnych systemów współosiowych

2.2.5.1. Założenia analizy. W rozdz. 2.2.2. zostały podane ogólne założenia przeprowadzanych poniżej rozważań ekonomicznych. W niniejszym rozdziale ograniczamy się tylko do niektórych szczegółów uzupełniających.

Obliczenia kosztów wyposażenia technicznego zostały wykonane dla reprezentatywnego odcinka linii współosiowej, za jaki przyjęto 280 km jednorodnego traktu liniowego, stanowiącego odcinek linii, w której są realizowane umyślane łącza odniesienia CCI. Ten trakt liniowy nie zawiera żadnego urządzenia do inwersji pasm liniowych. Koszty linii współosiowej zostały wyliczone z uwzględnieniem kosztu rur (torów współosiowych), zależnie od ich liczby i typu, kosztu płaszcza i uzbrojenia kabla, dla części obliczeń średnich kosztów układania i montażu itp.

W kosztach urządzeń uwzględniono obok kosztów wzmac-

niałków przelotowych z zasobnikami doziemnymi, także koszty dozerowanych urządzeń stacji wzmacniakowych kablowych i przelotowych, jak i koszty urządzeń zasilania zdalnego, regulacji poziomów, korekcji, zdalnego dozoru i łączności służbowej.

W obliczeniach pominięto natomiast koszty budynków oraz ustojów^{x)} betonowych dla zasobników ze wzmacniakami przelotowymi.

Ustalenie kosztów całkowitych systemu na podstawie kosztów poszczególnych urządzeń jest trudne. Wychodząc z kosztów znanego systemu trzeba możliwie trafnie oszacować koszty poszczególnych urządzeń systemu nieznanego. W tym przypadku metoda wykreślna pozwala na zmniejszenie błędów szacunków do takiego minimum, które umożliwia wykorzystanie oszacowanych wartości do ekonomicznych analiz porównawczych systemów przyszłościowych zarówno między sobą, jak i z systemami istniejącymi.

Ponieważ koszty te są obliczone dla krotności systemów począwszy od stu, zakres możliwych analiz ekonomicznych jest bardzo obszerny.

Wobec dużego zróżnicowania metod obliczania kosztów i cen urządzeń w różnych krajach wprowadzono odpowiednie współczynniki przeliczeniowe kosztów, aby otrzymać wartości porównywalne w praktyce. Sposób ten jest wyjątkowo przydatny przy badaniach ekonomicznych nieznanymi jeszcze systemów przyszłościowych.

^{x)} Ustój - konstrukcja zapewniająca stabilność posadowienia w gruncie.

2.2.5.2. Analiza kosztów łączy różnych teletransmisyjnych systemów współosiowych. Podane na rys. 19 typy kabli współosiowych są przystosowane do pracy systemów nośnych w szerokim zakresie ich krotności. Dla różnych związanych z tym kombinacji obliczono koszty jednostkowe przypadające na jedno kilometrołącze i uzyskano wyniki przedstawione na rys. 27 i 28.

Na rysunku 27 liczba łączy jako odcięta jest iloczynem krotności danego systemu razy ilość uruchomionych zestawów tego systemu. W rezultacie otrzymujemy na wykresie rozrzucony zbiór punktów selektywnych, z których każdy reprezentuje ściśle zdefiniowany teletransmisyjny system współosiowy. Dla otrzymania każdego z tych punktów należało przeprowadzić pełne wyliczenie kosztów według omówionych zasad. W wyniku analizy i rozpoznania istniejących tendencji punkty dla jednakowych systemów połączono liniami i otrzymano w ten sposób odpowiednie krzywe.

Wychodząc z klasycznego systemu V120 na symetrycznej czwórce, otrzymano dla linii kablowej z 8 zestawami systemu przy obecnie stosowanym rozwiązaniu lampowym koszty jednostkowe kilometrołącza około 26.

Pozostałe krzywe i punkty kosztów odnoszą się do różnych typów linii współosiowych.

Z systemów współosiowych system V300 na torach 1,2/4,4 wykazuje najwyższe koszty jednostkowe kilometrołącza, ponieważ koszty kabla w porównaniu z kosztami urządzeń powodują znaczne wydatki.

Z analizy uzyskanego zbioru krzywych wynika, że koszty jednostkowe kilometrołacza maleją ze wzrostem krotności systemu, przy czym dla systemów krotności 2700 wypadają prawie równe przy torach 1,2/4,4 i torach 2,6/3,5 mm. Przejście na grubsze tory współosiowe powoduje dalsze obniżenie kosztów jednostkowych kilometrołacza. Przy liniach współosiowych aż do linii z torami 5,5/20 mm włączenie celowe jest stosowanie systemów dwutorowych - jednakokanałowych i linii dwukablowych, podczas gdy przy grubym torze 11/41 mm w kablu może być tylko 1 rura tak, że w takim przypadku wypada stosować system jednotorowy - różnokanałowy i linię jednokablową, albo system dwutorowy - jednakokanałowy, przy czym należy wówczas we wspólnym wykopie układać dwa kable jednorurowe. Porównanie kosztów między systemem V8100 na torach 2,6/3,5 mm z kosztami tego systemu na torach 5,5/20 daje w wyniku prawie jednakowe koszty. Systemy wyższych krotności 10800, 14400 lub 18000 są ekonomicznie korzystniejsze na torach 5,5/20 mm. Występuje przy tym zrównanie kosztów z systemami jednotorowymi krotności 14400 i 18000 na torach 11/41 mm, podczas gdy system Z 25200 na torze 11/41 mm jest znów korzystniejszy ekonomicznie niż inne systemy. System V72000 na torach 11/41 mm wykazuje najniższe koszty jednostkowe kilometrołacza a mianowicie rzędu 1,5.

W celu pełniejszego ujęcia rozpatrywanego zagadnienia zbadane zostały również cienkie tory współosiowe 0,6/2,2 mm. Zachodzi pytanie, czy linie z takimi torami są korzystniejsze dla tych systemów, które nie znalazły uzasadnienia ekonomicznego na torach 1,2/4,4 lub też czy

takie linie mogłyby zastąpić linie kablowe z torami symetrycznymi.

Z rysunku 27 otrzymuje się odpowiedź pozytywną. Mimo że tory współosiowe $0,6/2,2$ mm mają większą tłumienność niż tory symetryczne, a tym samym wymagają większej liczby wzmacniaków przelotowych, koszty całkowite, dzięki zmniejszeniu się kosztów kabla, maleją na tyle, że jednostkowy koszt kilometrołącza dla systemu V120 maleje z 26 - przy torach symetrycznych, aż do około 13 przy torach współosiowych. Wydaje się zatem celowe uwzględnienie linii z tego rodzaju "mini-torami współosiowymi" przy programowaniu rozwoju i rozbudowy sieci międzymiastowych czy wewnątrzstrefowych, szczególnie przy układach wielobocznych tych sieci, przy uwielokrotnianiu ich torów systemami o krotności 240 lub 300, na co wskazują odpowiednie krzywe.

Rysunek 28 wykazuje identyczne zależności, ale z uwzględnieniem kosztów układania i montażu kabli. Przy systemach bardzo dużych krotności koszty układania kabli odgrywają oczywiście mniejszą rolę niż przy systemach o średnich krotnościach.

2.2.6. Wybór optymalnych teletransmisyjnych systemów współosiowych

Na rysunku 29 podane są zależności stosunku kosztów urządzeń wzmacniakowych do kosztów kabli w funkcji liczby łączy uzyskiwanych w danym systemie, tj. jego krotności. Dla rzędnej równej 1 koszty wzmacniaków i koszty ka-

bla są oczywiście równe. Wyniki obliczeń podane w formie poszczególnych punktów, odpowiadających odpowiednim systemom, połączone zostały liniami krzywymi, dzięki czemu łatwiej można uchwycić istniejące związki. Na rysunku tym punkty odpowiadające poszczególnym systemom zostały połączone w sposób uwzględniający wzrost liczby torów współosiowych w kablu danego rodzaju linii. Niektóre krzywe przecinają się na linii prostej określonej rzędną równą 1, inne nie. Zazwyczaj systemy, dla których występuje zrównanie kosztów urządzeń z kosztami kabla, oznacza się jako optymalne.

Z rysunku 29 można wyciągnąć wniosek, że dla każdego systemu danej krotności istnieje tylko jeden typ linii współosiowej, który zapewnia najniższe koszty ogólne całego systemu, a tym samym i najniższe jednostkowe koszty kilometrolączza. Odwrotnie, dla danego typu linii współosiowej istnieje tylko jedna najkorzystniejsza krotność programowanego systemu teletransmisyjnego. Można to łatwo zauważyć, gdyż minima są całkiem płaskie i nieco przesunięte w kierunku wzrostu liczby torów w kablu. Opisane tu współzależności można zaobserwować na rys. 32.

Na rysunku 30 oddzielne punkty zostały między sobą tak połączone, że uzyskano krzywe odpowiadające jednakowym liczbom torów współosiowych w kablu. Wzrastające krzywe określają systemy o wzrastającej krotności, a więc i wzrastającej szerokości pasma liniowego. Wypada zauważyć, że wszystkie krzywe przecinają linię określoną rzędną równą 1.

Aby uzyskać odpowiedź, jakie systemy zestrojów z jakimi typami kabli dają optymalne systemy współosiowe, należy wykorzystać punkty przecięcia krzywych z rzędną 1 na rys. 29 ewentualnie 30.

Na rysunku 31 podano dla każdego typu toru krzywą systemów optymalnych. Dla określenia rzędu błędów dokonanych obliczeń wykorzystano w podobny sposób punkty przecięcia krzywych z rzędnymi 0,9 i 1,1. Można także krzywe dla rzędnej 1 przesunąć przy korekcji błędów na lewo lub na prawo i zorientować się przy tym w zaistniałych tendencjach. Dla znanych typów linii współosiowych otrzymuje się następujący wynik: Systemami optymalnymi dla torów 1,2/4,4 jest system V960 na kablu z 12 rurami, V1260 na kablu z 6 rurami i V1800 na kablu z 2 rurami. Systemy V300 i V2700 leżą poza obszarem opłacalności. W pierwszym wypadku decydują o tym koszty kabla, w drugim - koszty urządzeń. Tor (rura) 2,6/9,5 jest optymalna dla systemu V3600 na kablu z 8 rurami, V4500 ewentualnie V4800 na kablu z 4 rurami. System V2700 osiąga przy tym wartość optymalną, podczas gdy system V8100 i systemy wyższych krotności wypadają przy programowaniu "za drogie" ze względu na koszt urządzeń. Jeśli koszty kablowe wzrastają o dodatkowe koszty towarzyszące, to odpowiednie zależności zmieniają się w kierunku zwiększenia znaczenia kosztów kabli. Przy rozpatrywaniu innych typów linii współosiowych, w przypadku zastosowania rur 0,6/2,2 zyskują na atrakcyjności systemy V300 i V240, co wynika z optymalnych zależności. Przy rurach 5,5/20 mm optymalne są systemy o krotności od 15000 do 20000. Grube rury

11/41 można eksploatować optymalnie wykorzystując systemy dwutorowe - jednakokanałowe krotności 70000 do 80000, albo system jednutorowy-różnokanałowy krotności 25000.

Podporządkowując podanym na rys. 19 typom linii współosiowych optymalne systemy zestawów otrzymuje się rodziny optymalnych teletransmisyjnych systemów współosiowych, przedstawione na rys. 32. Dla wewnętrznych średnic przewodu zewnętrznego 5 typów kabli, podane są na tym rysunku krotności systemów optymalnych. Uzyskuje się przy tym w skali logarytmicznej prostą o nachyleniu wzrastającym i odpowiadającym wykładnikowi potęgowemu 2, a więc - zależność kwadratową. Jeżeli na drugą krzywą naniesie się koszty kilometrołącza, to otrzyma się z kolei prostą o nachyleniu opadającym i odpowiadającym wykładnikowi potęgowemu $-1/\sqrt{2}$. Dla każdego systemu na rurze cieńszej lub grubszej można określić koszty łącza metodą interpolacji i można zauważyć, że wklęsłe odcinki krzywych przecinają prostą w punktach "optymalnych".

Jeśli zamierza się przy określaniu optymalnego systemu uwzględnić wpływy kosztów eksploatacji, to należy korzystać z danych zawartych na rys. 29 i 30. Jednak optymalne systemy nie są wtedy określone przez prostą $\frac{K_v}{K_k} = 1$, lecz leżą bardziej na linii określonej wartością rzędnej, jaka wynika z przyjętej w kalkulacjach stopy procentowej i okresów amortyzacji urządzeń i ewentualnie kabli. W związku z dłuższym czasem użyteczności technicznej kabli niż urządzeń, nowa linia przesuwana się nieco poniżej 1, a tym samym występuje pewne

przesunięciu optymalnej krotności ku wartościom mniejszym. Do obliczeń uwzględniających powyższe założenia stosuje się wykresy pomocnicze podane na rys. 31 i 33.

2.2.7. Przegląd optymalnych rodzin teletransmisyjnych systemów współosiowych

Na rysunku 33 są podane najważniejsze dane rodzin systemów uzależnione od wewnętrznej średnicy przewodu zewnętrznego toru współosiowego (rury), przy czym naniesiono obie analizowane krzywe z rys. 32 oraz krzywe dla krotności (liczby łączy) i kosztów jednostkowych łączy na jeden kilometr systemów optymalnych. Wykres jest również uzupełniony krzywą dla tłumienności jednostkowej toru przy 1 MHz oraz krzywą dla największej częstotliwości pasma liniowego systemów optymalnych. Pierwsza krzywa jest odcinkiem funkcji wykładniczej z wykładnikiem równym 1, druga z wykładnikiem równym 2 i przebiega równoległe do krzywej optymalnych krotności. W tablicy 5 zestawiono 5 optymalnych szeregów (rodzin) systemów, jakie rozwijają się - wyższy z niższego - przy pomocy zwykłych przemian. Przykład 1 i 4 dają szeregi "czyste" i mnożnik stopniowania 4, jaki otrzymuje się z krzywej dla optymalnych systemów współosiowych. Przykład 1. może uwzględnić również system 300-krotny. Dla przykładu 4. obowiązuje różnica polegająca na tym, że podane w nim systemy wywodzą się z niestosowanego dotąd systemu 240-krotnego. W pozostałych przykładach występują "nieczyste" szeregi, ponieważ stosują one poza mnożnikiem 4 również dodatkowe mnożniki stopniowania 3 i 5.

T a b l i c a 5

Pięć optymalnych rodzin teletransmisyjnych systemów współośiowych

	Systemy optymalne szereg 1					Systemy optymalne szereg 2					Systemy optymalne szereg 4					Systemy optymalne szereg 3				
	Krotność systemu	Grupa podstawowa	lmoznik stopniowania	Długość od-cinka wzm.km	Krotność systemu	Grupa podstawowa	lmoznik stopniowania	Długość od-cinka wzm.km	Krotność systemu	Grupa podstawowa	lmoznik stopniowania	Długość od-cinka wzm.km	Krotność systemu	Grupa podstawowa	lmoznik stopniowania	Długość od-cinka wzm.km	Krotność systemu	Grupa podstawowa	lmoznik stopniowania	Długość od-cinka wzm.km
Rura																				
0,5/2,2	300	60	5	4	300	60	5	4	300	60	5	4	240	60	4	4,3	240	60	4	4,3
1,2/4,4	1200	300	4	3	900 /96Q	300	3	4	1200 /126Q	300	4	3	960	240	4	4	960	240	4	4
2,5/9,5	4800	1200	4	3	3600	900	4	3,6	3600	1200	3	3,6	3840	960	4	3,5	3840	960	4	3,5
5,5/20	19200	4800	4	2	18000	3600	5	2,4	18000	3600	5	2,4	15360	3840	4	2,7	19200	3840	5	2
11/41	76800	19200	4	1,6	72000	18000	4	1,7	72000	18000	4	1,7	61440	15360	4	1,9	76800	19200	4	1,6

2.3. Metoda uproszczonych obliczeń kosztów rozbudowy teletransmisyjnej sieci międzymiastowej

2.3.1. Wprowadzenie

Międzymiastowa sieć telekomunikacyjna może być realizowana różnymi systemami teletransmisyjnymi (o różnych charakterystykach konstrukcji, działaniu, warunkach montażu, krotkości, itp.), wykorzystanych w sieci w rozmaity sposób (różne rozpiętości łączy, warunki i ilości ich zakończeń lub tranzytów, zajętości, itp.).

Przy opracowywaniu programu rozbudowy i rozwoju sieci należy wybrać na drodze analizy te systemy, które spełniając założone wymagania techniczno-eksploatacyjne, okażą się również najbardziej efektywne ekonomicznie. Analizy różnych koncepcji konfiguracji i struktury sieci wymagają określenia kosztów wszystkich traktów liniowych i obiektów węzłowych, co jest dość skomplikowane i czasochłonne, z uwagi na konieczność porównania pod względem techniczno-ekonomicznym znacznej liczby wariantów koncepcji rozbudowy i rozwoju sieci. Trudności oszacowania kosztów wzrastają jeszcze bardziej w związku ze stosowaniem coraz precyzyjniejszych, ale i bardziej skomplikowanych metod rachunku ekonomicznego, które prowadzą do porównania kosztów rocznych, nakładów rzeczywistych oraz innych wskaźników ekonomicznych.

Dużą rolę odgrywa obecnie również problem optymalizacji rozbudowy sieci, co wymaga w praktyce albo porównania dużej liczby wariantów z jednoczesnym wykorzystaniem

niem nowoczesnych metod obliczeniowych i maszyn matematycznych, albo zastosowania metody analitycznej z możliwością wykorzystania rachunku tradycyjnego.

Celowość opracowania i stosowania tego rodzaju metod analitycznych narzuca się logicznie przede wszystkim w zastosowaniu do programowania rozbudowy sieci, które z racji obejmowania swoim zakresem perspektywy rzędu kilkudziesięciu lat (np. obecnie do około roku 2000), nie może opierać się na elementach kosztów faktycznych, a jedynie na szacunkach wynikających z porównania techniczno-ekonomicznego systemów teletransmisyjnych, jakie mogą znaleźć zastosowanie w przyszłości, z systemami stosowanymi obecnie, dla których posiadamy nie tylko dane techniczno-eksploatacyjne, ale również ekonomiczne. W celu umożliwienia praktycznego wykorzystania metody analitycznej z zastosowaniem metod tradycyjnych w badaniach efektywności rozbudowy sieci Mm, wydaje się celowe wyrażanie matematyczne kosztów elementów sieci w możliwie prostych funkcjach niewielu parametrów, określających konfigurację i strukturę sieci. Funkcje takie powinny równocześnie spełniać warunek, aby wyniki obliczeń elementów kosztów przy ich zastosowaniu do analizy ekonomicznej sieci obecnie istniejących nie wykazywały poważniejszych błędów.

Przedstawiona poniżej metoda analityczna, w świetle zweryfikowania osiągniętych przy jej pomocy wyników, wydaje się zadowalająco spełniać podane wyżej wymagania i dlatego nadaje się do praktycznego stosowania.

Liczba parametrów od jakich uzależnia się koszty sieci, jest niewielka i zostały one przyjęte w oparciu o doświadczenia rutynowanych projektantów sieci, którzy z góry eliminują pewne warianty rozwiązań jako nienadające się już do stosowania (jak np. stosowanie systemów naturalnych do rozbudowy międzymiastowych sieci teletransmisyjnych, budowa nowych linii napowietrznych, itp).

W kosztach sieci należy odróżnić dwa podstawowe składniki:

- koszty środków transmisji, tj. urządzeń, jakie zapewniają transmisję wiązek prądów o określonych pasmach częstotliwości, bez zmiany tych pasm częstotliwości od początku do końca danego środka transmisji (a więc koszty traktów liniowych, stacji wzmacniakowych przelotowych, wzmacniaków przelotowych itp.);
- koszty urządzeń, stanowiących wyposażenie obiektów, w których łączy się zakończone i gdzie występuje przełączanie łączy z danego środka transmisji na inny środek, co wymaga transpozycji częstotliwości kanałów i ich przemian grupowych.

Szczegółowe określenie pierwszego składnika wymaga znajomości takich parametrów rozwojowych sieci, jak:

- krotności systemów (niekiedy także typu urządzeń);
- znaczenia danej linii w sieci;
- rocznego przyrostu łączy, itp.

Szczegółowe natomiast określenie drugiego składnika wymaga poza znajomością podanych wyżej parametrów, prze-

de wszystkim znajomości systemu przemian grupowych kanałów przy ich odprowadzaniu, zakańczaniu, retransmisji itd.

2.3.2. Obliczanie kosztów środków transmisji

Na koszty środków transmisji wpływają rozmaite czynniki, największe jednak znaczenie spośród nich mają te, które kojarzą się z długością traktów liniowych i szerokościami pasm częstotliwości prądów transmitowanych, albo krotności systemów (jak np. w Mm sieci włoskiej trakty liniowe między obiektami węzłowymi sieci charakteryzują się długościami rzędu dziesiątek kilometrów, a ilości kanałów, dla jakich te trakty mają zapewnić transmisję, zmieniają się od dolnej granicy 200-300 kanałów, do górnej granicy 1000-2000 kanałów).

Przyjęcie wyżej podanych kryteriów określenia traktów (długości i ilości kanałów) jest bardzo korzystne przy wyborze środków transmisji w przypadku zastosowania metody analitycznej i pozwala na szerokie i dokładne rozpatrywanie między innymi zakresów wykorzystania w sieci zmiennych typów kabli z torami współosiowymi, czy też np. linii radiowych dużej przepustowości.

Na ostateczny wybór jednego z wyżej wymienionych nowoczesnych środków transmisji mają wpływ:

- aktualny stan sieci,
- wymagania dotyczące jakości transmisji,
- wymagania dotyczące pewności transmisji,
- korzyści z ujednolicenia systemów w sieci,

- gęstość sieci.

We Włoszech np. do 1950 r. w sieci Mm występowały przeważnie linie kablowe o torach symetrycznych. Obecna Mm sieć podstawowa Włoch zawiera zasadniczo:

- linie z torami współosiowymi małowymiarowymi (1,15/4,14 mm), przystosowanymi do pasma 1,3 MHz i eksploatowanymi za pomocą urządzeń systemu 300-krotnego,
- linie z torami współosiowymi normalnowymiarowymi (2,6/9,5 mm), przystosowanymi do pasma 4 MHz i eksploatowanymi za pomocą urządzeń systemu 960-krotnego;
- linie radiowe dużej przepustowości, przystosowane do pasma 4 do 7 GHz i eksploatowane za pomocą urządzeń systemu 900-krotnego.

Metoda analityczna jest oczywiście tym bardziej skuteczna i sprawna, im bardziej ograniczony jest zbiór różnych środków transmisji, z którego mają być wybrane najkorzystniejsze rozwiązania z ustaleniem zakresu ich zastosowania. Takie ograniczenie ułatwia wprowadzenie racjonalnych uproszczeń.

W omawianej metodzie analitycznej, podobnie jak i w innych przyjmuje się jako dane:

- przeciętną długość trasy traktu liniowego;
- asortyment urządzeń, jakie dość często występują w praktyce eksploatacyjnej;
- nieokreślony czas renowacji urządzeń (tj. utrzymania ich w stanie ciągłej eksploatacji drogą remontów i konserwacji);

- początek okresu pełnego wykorzystania (tj. rok, od którego począwszy pełny potencjał usługowy środka transmisji jest wykorzystany całkowicie).

Pierwsze trzy dane nie nastroczają projektantom sieci poważniejszych trudności, natomiast określenie dokładne czasu pełnego wykorzystania potencjału usługowego środka łączności jest zawsze praktycznie trudne i problematyczne. Dlatego przeważnie najkorzystniejsze i względnie trafne jest przewidywanie takich środków transmisji do wykorzystania sieci, których zdolność usługowa daje się sukcesywnie powiększać, w miarę faktycznego rozwoju zapotrzebowania na usługi telekomunikacyjne (innymi słowy - takich środków, których inwestowanie daje się łatwo etapować).

Projektant zatem na początku okresu eksploatacji określa zakres usług oraz na podstawie charakterystyki rozwoju zapotrzebowania w dalszych okresach dokonuje wyboru najefektywniejszego środka transmisji spośród zbioru przyjętego do rozważań. Przy tych założeniach rachunek ekonomiczny przeprowadza się przyjmując następujące dane:

- wartość usług potrzebną na początku rozpatrywanego okresu eksploatacji - r_1 ,
- wartość usług potrzebną w końcu rozpatrywanego okresu eksploatacji - r_n .

Jeśli następnie założy się w granicach praktycznie dopuszczalnego przybliżenia, że rozwój zapotrzebowania

na usługi przebiega w czasie według funkcji procentu składanego (postępu geometrycznego) przy stopie procentowej wzrostu t , to między wielkościami r_i i r_n należy przyjąć następującą relację:

$$r_n = r_i (1 + t)^n.$$

Środek transmisji o danej przepustowości mimo, że zaspokaja początkowe zapotrzebowanie na usługi w szerokich granicach, ze względów ekonomicznych może być nie do przyjęcia:

- gdy tempo wzrostu zapotrzebowania na usługi nie gwarantuje pełnego wykorzystania przepustowości danego środka;
- gdy zapotrzebowanie początkowe w odniesieniu do jego stopy wzrostu jest bardzo duże, a przepustowość środka transmisji wyczerpuje się zbyt szybko w czasie.

Z tego wynika, że dolna granica usług początkowych jest określona przez moment osiągnięcia pełnego wykorzystania przepustowości środka transmisji w przewidzianym okresie jego eksploatacji. Przy ustalaniu górnej granicy usług początkowych zakłada się, że uruchomienie następnego środka transmisji nastąpi najwcześniej po 15 latach.

W ten sposób ustala się granice potrzeb początkowych i przystępuje do obliczenia kosztów w funkcji potrzeb początkowych.

Jeśli koszt uważałoby się za wartość wszystkich korzy-

ści faktycznych (zysków) uzależnionych od właściwości technicznych środka transmisji przyjętego do rozważań, to korzyści te są proporcjonalne do ilości usług, innymi słowy: wartość zysków rocznych jest proporcjonalna do liczby łączy wykorzystanych w danym roku.

Z tego względu przyjmuje się dalej następujące założenia:

- okres rozpatrywania kosztów 30 lat,
- stopę procentową wzrostu usług równą: 5%, 10% lub 15%;
- stopę procentową zysku równą 6,5%.

Wyniki kalkulacji przeprowadzonej w oparciu o powyższe założenia są podane na rys. 34 + 37. Koszt na jednostkę długości środka transmisji jest odniesiony do zmiennej wartości zapotrzebowania początkowego na usługi.

Jak łatwo zauważyć, omawiane krzywe skupiają się we względnie ograniczonej strefie reprezentowanej przez linie proste wykreślone na każdym rysunku jako ciągle. Proste te określają z małymi błędami ogólne koszty środków transmisji międzymiastowych sieci telekomunikacyjnych jako funkcje długości każdego traktu liniowego oraz zapotrzebowania początkowego na łącza obsługiwane przez odpowiedni trakt.

Średni błąd procentowy określonych przy pomocy podanych wykresów kosztów omawianych środków transmisji nie przekracza 9%, a obniża się do 8,5% w przypadku pominięcia traktów z torami współosiowymi małowymiarowymi.

W wyniku podanych rozważań koszt jednego kilometra łącza środka transmisji w okresie początkowego zapotrzebowania można wyrazić jako funkcję wykładniczą wartości potrzebnych usług - r_i na początku rozpatrywanego okresu.

Dla uwzględnionych w kalkulacjach wartości procentowego wzrostu potrzeb t , funkcje takie przedstawiają się następująco:

$$c = 46380 r_i^{-0,68829}, \quad \text{przy } t = 0,05,$$

$$c = 37790 r_i^{-0,71720}, \quad \text{przy } t = 0,10,$$

$$c = 27470 r_i^{-0,79944}, \quad \text{przy } t = 0,15.$$

Koszt ogólny jednego kilometra traktu liniowego C środka transmisji wyraża się zgodnie z powyższym następującymi funkcjami wykładniczymi:

$$C = 46380 r_i^{0,31171}, \quad \text{przy } t = 0,05,$$

$$C = 37790 r_i^{0,28280}, \quad \text{przy } t = 0,10,$$

$$C = 27470 r_i^{0,26056}, \quad \text{przy } t = 0,15.$$

Środkami transmisji w naszych rozważaniach są:

- linie kablowe z torami współosiowymi,
- linie radiowe,
- wzmacniakowe stacje przelotowe główne i pomocnicze lokalizowane w odległościach objętych zakresem od 50 do 100 km.

Z punktu widzenia transmisji w liniach kablowych zasadniczą rolę odgrywają:

- długość traktów liniowych,
- problemy zdalnego zasilania,
- problemy regulacji poziomów itp.

Z punktu widzenia natomiast transmisji w liniach radiowych zasadniczą rolę odgrywają warunki propagacji przesyłanych pasm częstotliwości.

Do wymagań dotyczących samej transmisji należy dodać wymagania ruchu. Sieci telefoniczne typu europejskiego w dużych stacjach teletransmisyjnych skupiają wiązki łączy rzędu setek w traktach o długościach od 50 do 100 km.

2.3.3. Obliczanie kosztów urządzeń obiektów węzłowych

Przy obliczaniu kosztów urządzeń, jakie stanowią wyposażenie techniczne obiektów węzłowych sieci (stacji teletransmisyjnych współpracujących ze stacjami telekomutacyjnymi - centralami telefonicznymi) należy uwzględnić następujące urządzenia:

- modemy kanałów do przesuwania pasma właściwego jakiegokolwiek kanału z częstotliwości akustycznej do jego grupy podstawowej w pasmie 60 do 180 kHz przez formowanie grupy pierwotnej 12 kanałów (grupy I);
- modemy grupy pierwotnej, które pomagają przesunąć 5 grup I w pasmo 312 do 552 kHz dla utworzenia grupy wtórnej 60-kanałowej;

- modemy grupy wtórnej, które pozwalają przesunąć grupy II w pasmo transmitowane w linii, np. w przypadku systemów 900-krotnych - w pasmo 312-4028 kHz, albo w przypadku systemów 2700-krotnych służą do tworzenia bloków 900-kanalowych; te bloki są formowane następnie jako grupy czwórne; (np. dla systemów 2700-krotnych wybrano rodzaj ustawienia 3x900 i zastosowano go w Mm sieci włoskiej);
- modemy grup czwórnych, które dokonują przesunięcia grup IV w pasmo faktycznie transmitowane w linii;
- filtry tranzytu grup II i IV;
- zespoły generacji prądów nośnych i prądów pilotowych.

Rysunek 38 tytułem przykładu podaje schemat obiektu węzłowego sieci, w którym występuje odgałęzienie, zakończenie i tranzyt wiązek łączy.

Celem określenia kosztów obiektu węzłowego sieci z jednego wzoru i to możliwie prostego, koszty takie zależą się od niewielu parametrów, a mianowicie od liczby grup wtórnych i liczby grup czwórnych, jakie występują w danym obiekcie węzłowym sieci. Takie założenie pozwala w praktyce na obliczenia kosztów obiektów węzłowych sieci z dokładnością nie gorszą niż ta, jaką się (przy stosowaniu omawianej metody analitycznej) uzyskuje przy obliczaniu kosztów środków transmisji.

Koszty przemian grupowych nie rosną bynajmniej linowo ze wzrostem liczby tych przemian, głównie dlatego, że koszty stojaków urządzeń nie wyrażają się funkcjami ciąg-

łymi. Wypada jednak zauważyć, że tego rodzaju koszty stanowią w praktyce zaledwie do 5% kosztu ogółu modemów i filtrów transferowych. Poza tym, błąd tym wywołany nie jest zbyt duży, stojaki urządzeń są bowiem przeważnie wypełnione zespołami w rozmiarach pośrednich między stadium początkowym a pełnym ich wypełnieniem. Innymi słowy: jeśli stojak czy rama stojakowa osiąga pełne wyposażenie dopiero po n latach, a w ciągu m lat nie są całkowicie wypełnione, to błąd w obliczeniu kosztów obiektu węzłowego sieci spowodowany nieuwzględnieniem powyższego faktu można bez szkody pominąć.

Podobne zależności można zaobserwować przy analizie kosztów urządzeń generacji prądów nośnych i prądów pilotowych. Zespoły tych urządzeń czy nawet stojaki stanowią w praktyce tylko pewien dodatek do ogólnej liczby stojaków modemów i dlatego ich koszty nie dają się wyrazić w postaci funkcji liniowych liczby modemów. Praktycznie wypada zatem uwzględnić wpływ kosztu urządzeń generacji prądów nośnych i prądów pilotowych, na drodze pewnego-niezanego zresztą - zwiększenia kosztów modemów. Dokładne analizy kosztów tych dodatkowych urządzeń wykazują, że ich suma wypada praktycznie rzędu jednej dziesięciotysięcznej kosztu modemów, jakie są zainstalowane w obiekcie węzłowym sieci.

Przy takich założeniach, koszt urządzeń w obiekcie węzłowym sieci daje się wyrazić przez liniową funkcję liczby grup wtórnych i czwórných, jakie są niezbędne w danym obiekcie dla zapewnienia odgałęzienia, zakończenia i tranzytu wiązek łączy. Wszystkie te funkcje urzą-

dzeń występują w przykładowym układzie obiektu węzłowego sieci, jakiego ogólny schemat jest podany na rys.38.

Do obiektu tego schodzą się linie wyposażone w środki transmisji 960-kanalowe, dla których część grup II obsługuje zakończenie łączy, a druga część - tranzyt poprzez obiekt. W związku z powyższym przy obliczaniu kosztu tego obiektu węzłowego należy uwzględnić liczbę ogólną grup II, jakie się w obiekcie zakończą (n_{ste}) oraz liczbę grup II, jakie przechodzą przez obiekt węzłowy tranzytem (n_{str}).

Aby obliczyć część kosztów ogólnych obiektu węzłowego, która zależy od liczby grup II, należy liczby tych grup:

1) pomnożyć przez współczynnik (C_1), który uwzględnia: koszty zespołów demodulacji potrzebnych do przesunięcia 60 kanałów do pasma 0,3-3,4 kHz, pasm transmitowanych w linii, tj. modemów kanałów (C_{mc}), modemów grup I (C_{mp}) i modemów grup II (C_{ms}); indeks s oznacza przy tym te koszty, które mają istotne znaczenie dla całej grupy wtórnej;

2) pomnożyć przez współczynnik (C_2), który reprezentuje koszty obydwu modemów grupy II (C_{ms}) i koszty filtrów transferowych grupy II (C_{fs}).

W przypadku natomiast 2700-krotnego środka teletransmisji należy zweryfikować obliczenia kosztów w sposób podany poniżej:

Jeśli grupy czwórne są zakończone w obiekcie węzłowym sieci, wtedy liczbę takich grup IV (n_{qte}) należy pomno-

żyć przez współczynnik C_3 , który uwzględnia koszt zespołów modulacji potrzebnej do przesunięcia 900 kanałów o pasmie 0,3-3,4 kHz do pasma transmitowanego w linii, tj. koszt: modemów kanałów (C_{me}^q), grupy I (C_{ms}^q) i grupy IV (C_{mq}^q); indeks q oznacza przy tym takie koszty, jakie są istotne dla całej grupy czwórnej.

Jeśli grupy czwórne przechodzą przez obiekt węzłowy tranzytem, wtedy liczbę takich grup IV, (n_{qtr}) należy pomnożyć przez współczynnik C_2 , który uwzględnia koszt filtru do tranzytu grupy IV (C_{fq}) i koszt obu modemów grupy IV (C_{mq}^{2q}).

Jeśli grupy IV są demodulowane do grup II, wtedy liczbę takich grup II, które zakończą się (n_{ste}) należy pomnożyć przez współczynnik $C_3 = C_{mc}^s + C_{ms}^s + C_{mq}^s$. Liczbę grup II, które się tranzytuje (n_{str}), mnoży się natomiast przez współczynnik $C_6 = C_{mq}^{2s} + C_{ms}^{2s} + C_{fs}$.

Ogólny koszt obiektu węzłowego można więc przedstawić w sposób następujący:

$$C = (C_1 n_{ste}' + C_2 n_{str}') + (C_3 n_{qte} + C_4 n_{str} + C_5 n_{ste} + C_6 n_{str}).$$

Wzór ten jest prosty, a obliczenia przy jego zastosowaniu łatwe. Oczywiście wzór ten upraszcza się jeszcze bardziej, gdy w obiekcie węzłowym sieci zbiegają się środki transmisji o krotności nie większej niż 900, albo tylko środki transmisji o krotności 2700, albo gdy w obiekcie węzłowym występują wyłącznie zakończenia łączy.

Przedstawiona powyżej metoda analityczna nadaje się do szybkiego obliczania wartości parametrów ekonomicz-

nych sieci międzymiastowych. Wyniki obliczeń wartości takich parametrów są jednak obarczone pewnymi błędami. Z tej racji metodę analityczną należy stosować jedynie do wstępnego wyboru optymalnego programu rozbudowy sieci międzymiastowej.

3. WNIOSKI

Rozważania zawarte w rozdz. 1. sugerują celowość adaptacji niektórych metod rachunku ekonomicznego dla potrzeb działalności resortu łączności w zakresie badań ekonomicznej efektywności specyficznych zamierzeń rozwoju telekomunikacji.

W świetle rozważań tego rozdziału wydaje się pożyteczne przyjmowanie różnego rodzaju kryteriów oceny ekonomicznej efektywności dla specyficznych zagadnień rozwoju telekomunikacji, a tym samym różnych metod rachunku ekonomicznej efektywności dopasowanych do specyfiki danych konkretnych zagadnień z tego zakresu.

Rozdział 1. sugeruje również celowość dalszych prac nad adaptacją rachunku ekonomicznej efektywności inwestycji dla potrzeb:

- programowania rozwoju telekomunikacji,
- wyboru systemów telekomunikacyjnych,
- planowania rozbudowy usług i urządzeń telekomunikacyjnych,
- analizowania dokumentacji projektowo-kosztorysowej na inwestycje z zakresu telekomunikacji.

W świetle całości materiału zawartego w opracowaniu, rysuje się fakt pewnej niezależności metod badania techniczno-ekonomicznej efektywności różnych zagadnień z zakresu telekomunikacji od metod samego rachunku ekonomicznego stosowanego w takich metodach badań.

Z powyższego wypada wnioskować, że wiele spośród metod badań techniczno-ekonomicznych stosowanych przez zagranicę, może być wykorzystanych w kraju do takich badań.

Metody te w zasadzie nie powinny wymagać poważniejszych adaptacji, poza koniecznością wprowadzenia do nich takiego rachunku ekonomicznego, który zapewnia realizację polityki gospodarczej resortu łączności.

Zgodnie z tym, materiał zawarty w rozdz. 2 sugeruje kontynuowanie prac naukowo-badawczych nad rozwojem metod techniczno-ekonomicznych badań dla potrzeb:

- programowania rozwoju usług i sieci telekomunikacyjnych,
- programowania produkcji urządzeń telekomunikacyjnych dla systemów ocenianych obecnie jako optymalne pod względem technicznym i ekonomicznym,
- planowania rozwoju usług i urządzeń telekomunikacji.

Przy kontynuowaniu tych prac naukowo-badawczych należy uwzględniać osiągnięcia krajów socjalistycznych oraz krajów kapitalistycznych w zakresie metod badań techniczno-ekonomicznej efektywności różnych zagadnień telekomunikacji.

Z materiałów zawartych w rozdz. 2 należy również wyciągnąć wnioski, że wiele szczegółowych metod badań techniczno-ekonomicznej efektywności można i warto zastępować metodami racjonalnie uproszczonymi, to znaczy takimi, które w oparciu o teorię aproksymacji pozwalają na łatwiejsze obliczenie wskaźników techniczno-ekonomicznych przy zachowaniu dokładności otrzymywanych wyników w granicach dopuszczalnych błędów w porównaniu z wynikami uzyskiwanymi przy stosowaniu skomplikowanych metod szczegółowych. Na taką możliwość wskazują wyniki studiów podanych w podrozdz. 2.1 i 2.3. artykułu.

W zakresie problemów programowania produkcji optymalnych systemów telekomunikacyjnych podrozdz. 2.2 artykułu daje szczegółowy przykład rozwiązywania jednego z takich skomplikowanych i kompleksowych problemów.

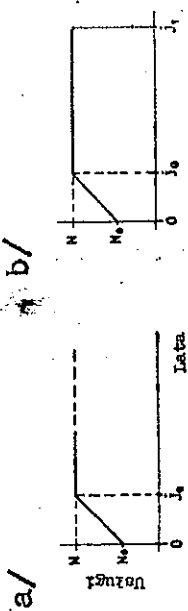
Podstawowym wnioskiem z niniejszego artykułu jest uzasadnienie celowości dobrej współpracy ekonomistów i techników nad racjonalnym dla warunków krajowych rozwojem metod rachunku ekonomicznej efektywności w telekomunikacji oraz nad racjonalnymi metodami badań techniczno-ekonomicznych w telekomunikacji.

WYKAZ LITERATURY

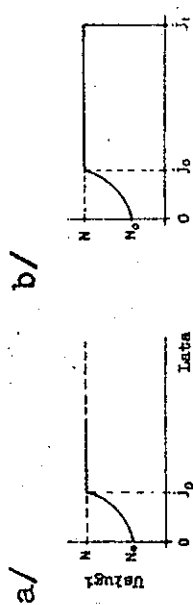
1. Mazzarella F., Timperi G.: Un nuovo metodo di confronto economico fra mezzi transmissivi. Alta Frequenza 1963, t. 32, nr 4, s. 267-273.
2. Bonaventura G., Timperi G.: Costo globale di una re-

te interurbana di collegamento. Note Recensioni e Notizie 1964, t. 13, nr 5-6, s. 654-665.

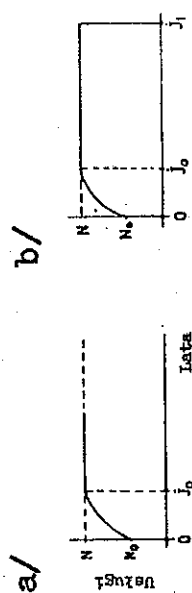
3. Hillebrenner H.: Verfahren zur Planungen im Fernmeldewesen. Zeitschrift f. das Post u. Fernmeldewesen 1965, t. 17, nr 2, s. 43-48.
4. Geissler H.: Beitrag zur Klärung der Entwicklungstendenzen von Trägerfrequenz-Kabelsystemen. Nachrichtentechnische Zeitschrift 1965, t. 18, nr 9, s. 538-547.
5. Beigart R.: Die Barwertrechnung als Hilfsmittel für Wirtschaftlichkeitsrechnungen im Fernmeldewesen. Nachrichtentechnische Zeitschrift 1967, t. 20, nr 3, s. 147-149.
6. De Boer J.: Economic aspects of multi-exchange telephone network planning. Philips Telecommunication Review 1967, t. 26, nr 4, s. 157-166.
7. Rapp Y.: The economic optimum in urban telephone networks problems. Ericsson Technics 1950, nr 49, s. 1-132.
8. Allgemeine Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsrechnungen bei der Deutschen Bundespost - Herausgegeben vom Bundesministerium für Post- und Fernmeldewesen. Bonn 1961.
9. Morgan T.I.: Telecommunication Economics London 1958, Mac Donald.



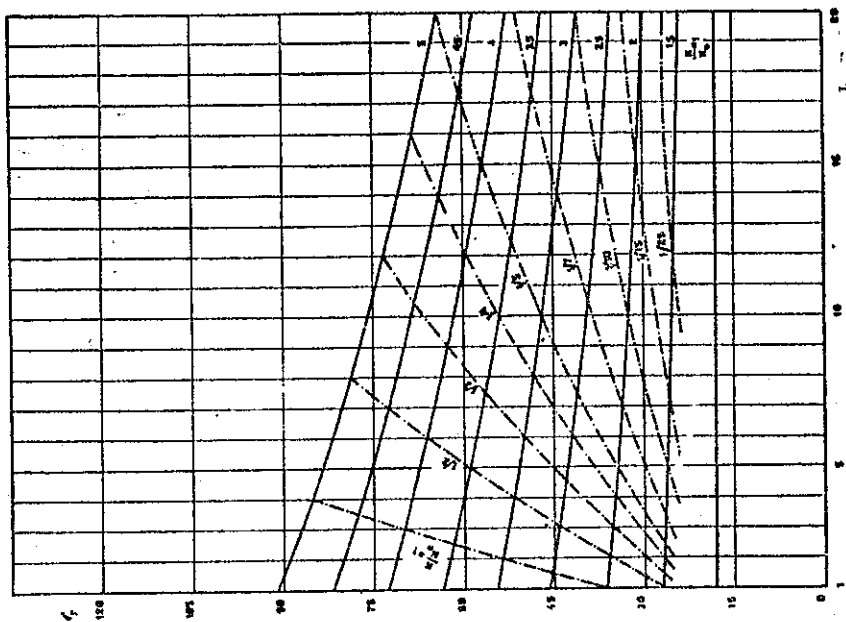
Rys. 1. Linowa funkcja rozwoju uszług

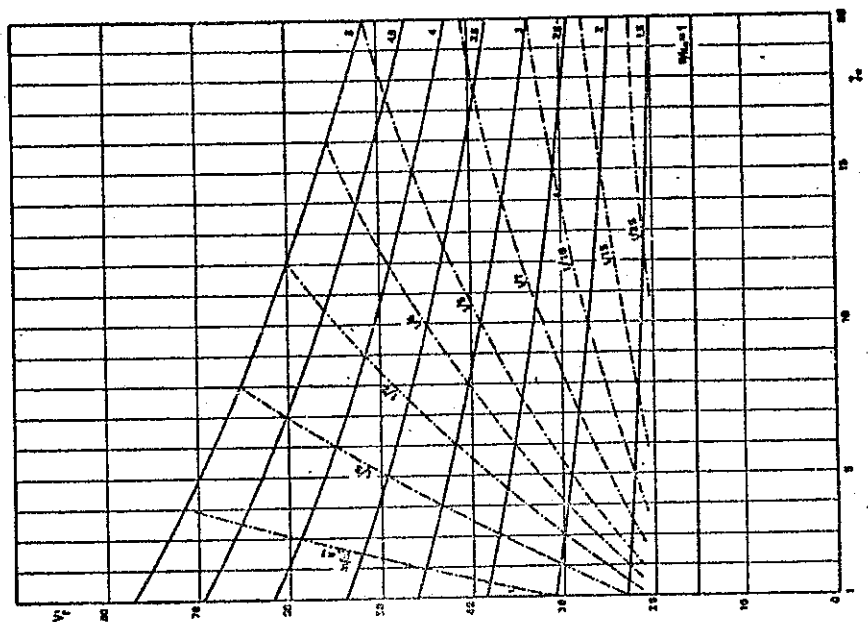


Rys. 2. Wykładnicza funkcja rozwoju uszług bez tendencji do nasycenia

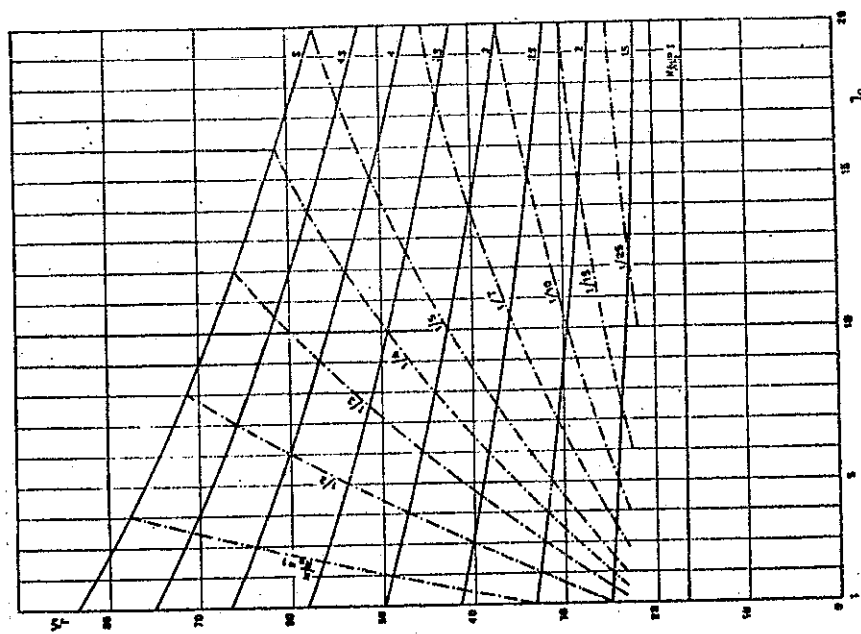


Rys. 3. Wykładnicza funkcja rozwoju uszług z tendencją do nasycenia

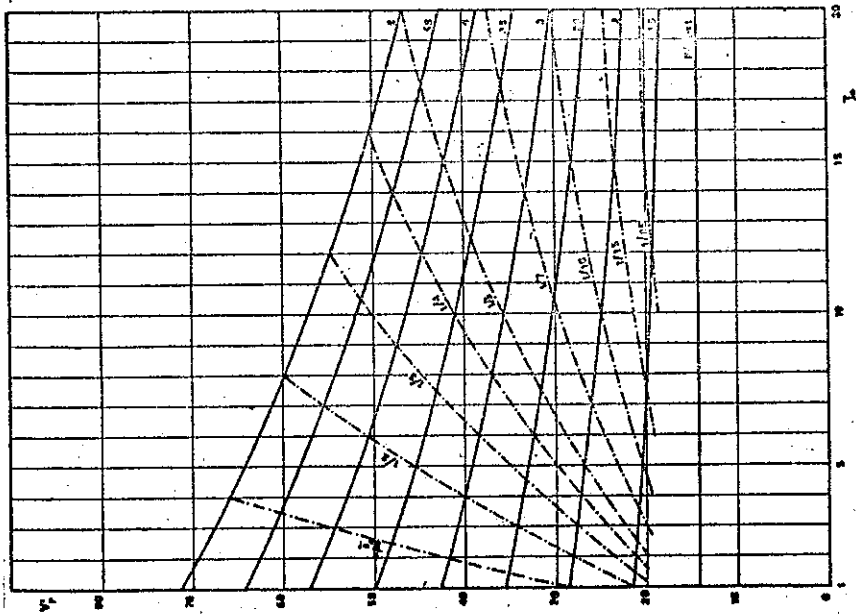
Rys. 4. Wartości v'_c w funkcji j_0 i parametrów $\frac{N}{N_0}$ oraz $\frac{N}{N_0}$ dla $i = 5,5\%$



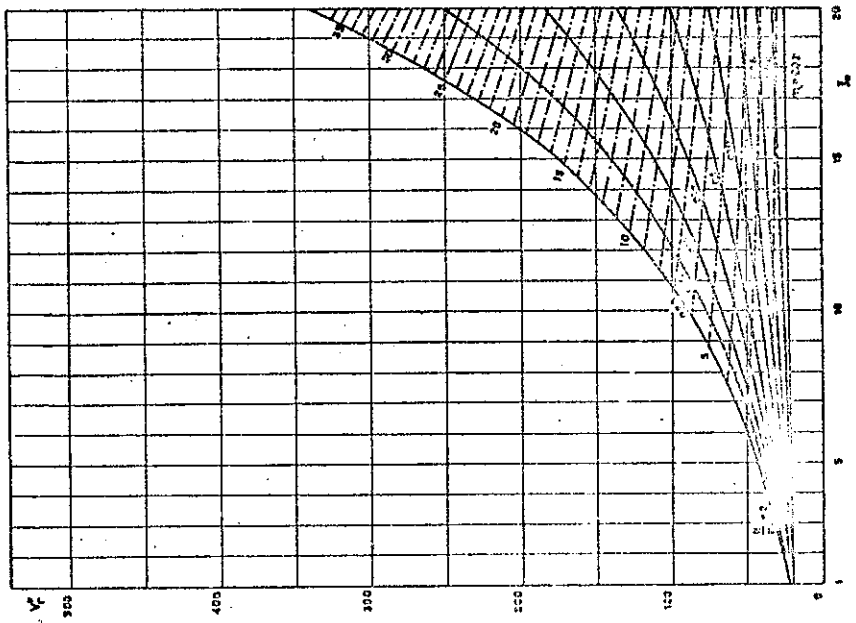
Rys. 5. Wartości v_r' w funkcji j_0 i parametrów $\frac{K}{N_0}$ oraz $\frac{N}{N_0}$ dla $i = 6,5\%$



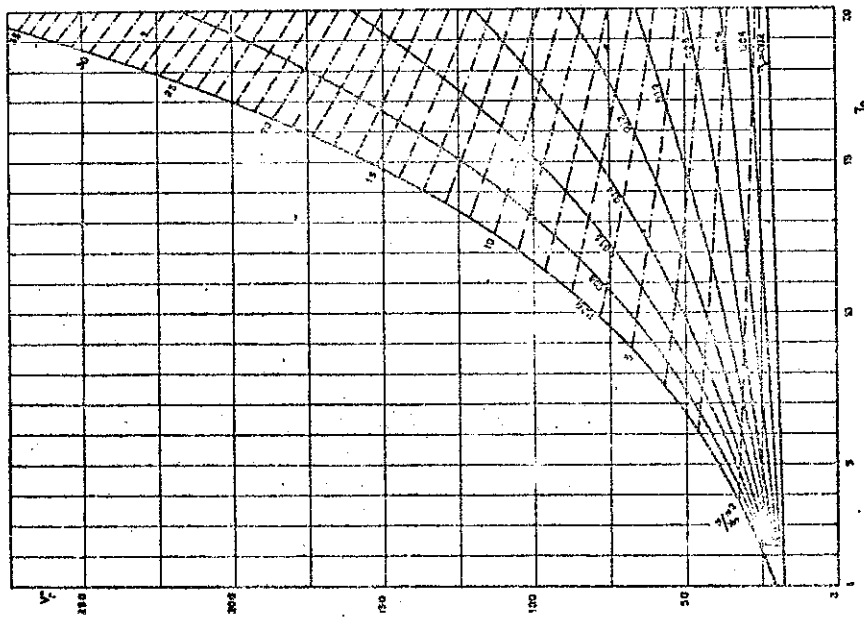
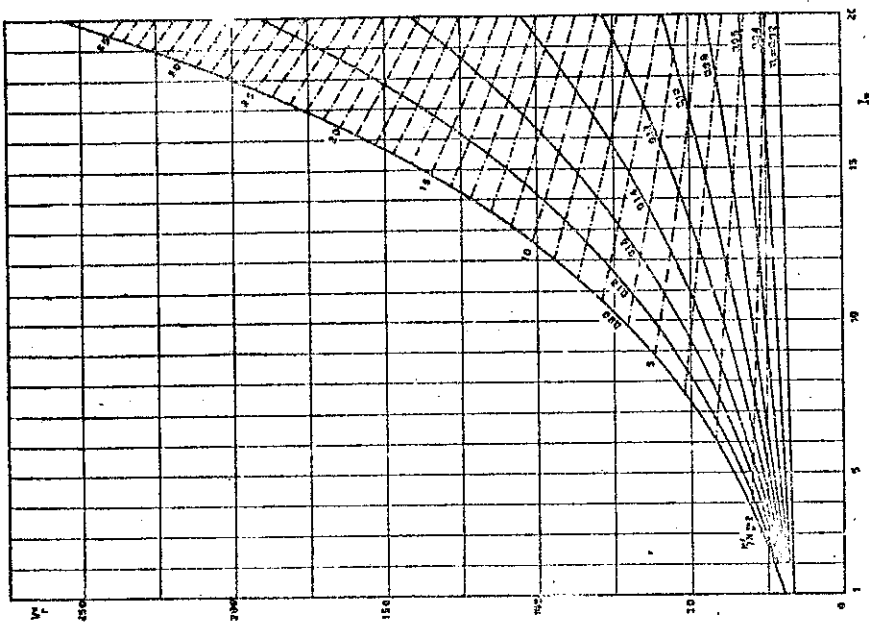
Rys. 6. Wartości v_r' w funkcji j_0 i parametrów $\frac{K}{N_0}$ oraz $\frac{N}{N_0}$ dla $i = 6\%$



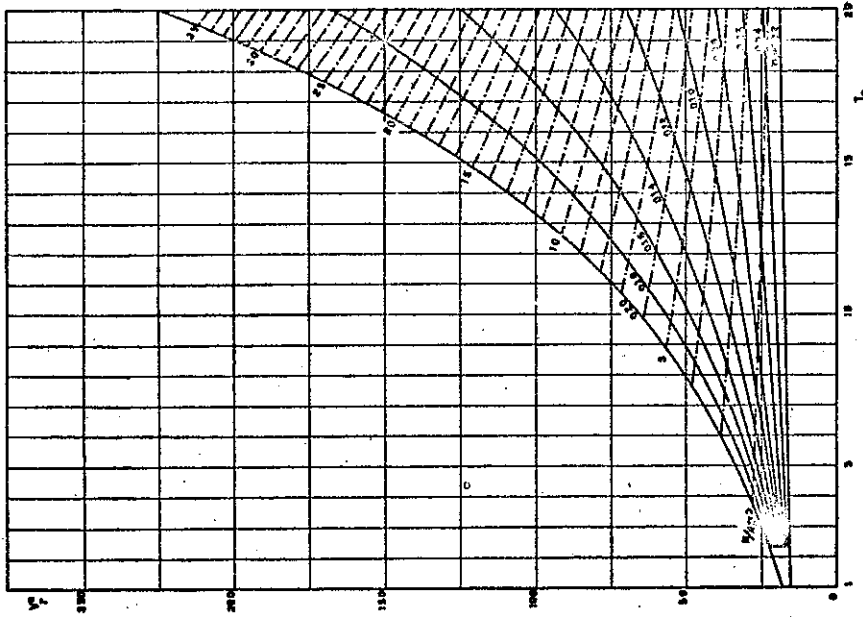
Rys. 7. Wartości V_F w funkcji j_0 i parametrów $\frac{K}{j_0}$ oraz $\frac{N}{N_0}$ dla $i = 7\%$



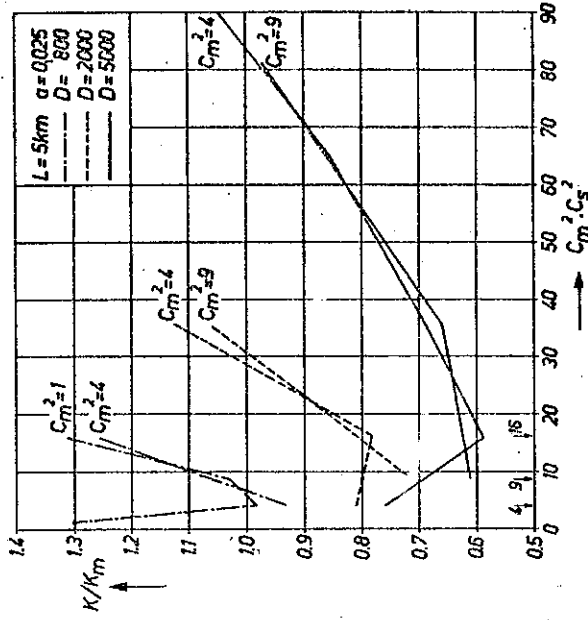
Rys. 8. Wartości V_F w funkcji j_0 i parametrów η oraz $\frac{N}{N_0}$ dla $i = 5,5\%$



Rys. 9. Wartości v'' w funkcji i_0 i parametrów q oraz $\frac{H}{H_0}$ dla $i = 6\%$ Rys. 10. Wartości v'' w funkcji i_0 i parametrów q oraz $\frac{H}{H_0}$ dla $i = 6,5\%$

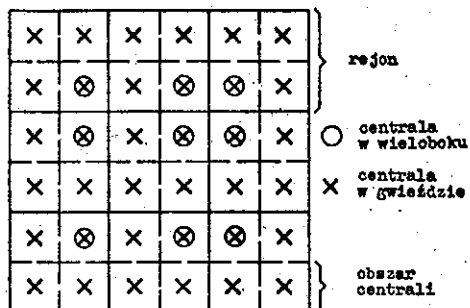


Rys. 11. Wartości η'' w funkcji j_0 i parametrów η oraz $\frac{K}{K_0}$ dla $i = 7\%$

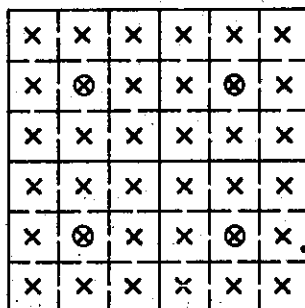


Rys. 13. Zależność K/K_m od $C_m^2 C_5^2$ przy $L = 5$, $a = 0.025$,
 $D = 800$; 2000; 5000

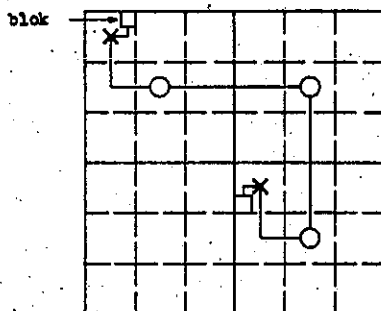
a/



b/

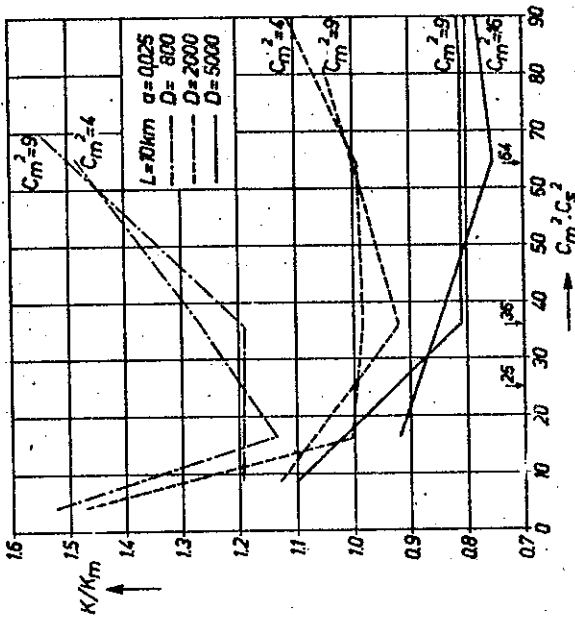


c/

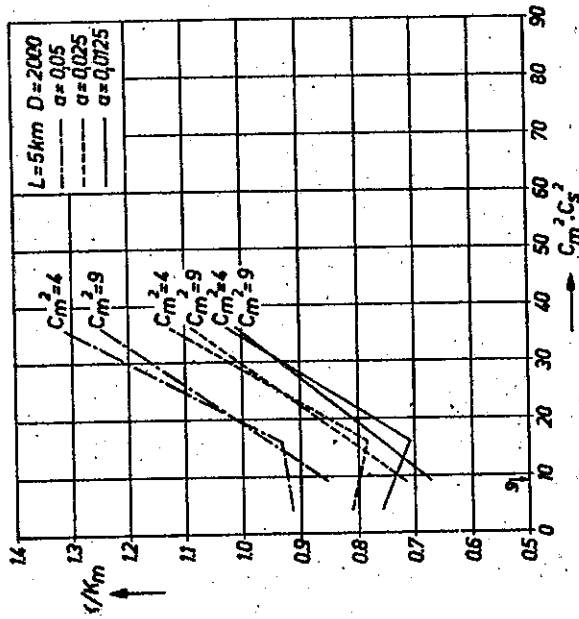


Rys. 12a. Ideowy obszar sieci wielocentralowej; podzielony na $C_M^2 = 9$ rejonów, podzielonych każdy na $C_S^2 = 4$ obszary centrali; b) ideowy obszar podzielony na $C_M^2 = 4$ rejonów, podzielone każdy na $C_S^2 = 9$ obszarów centrali; c) obszary wszystkich central podzielone na takie same liczby "bloków".

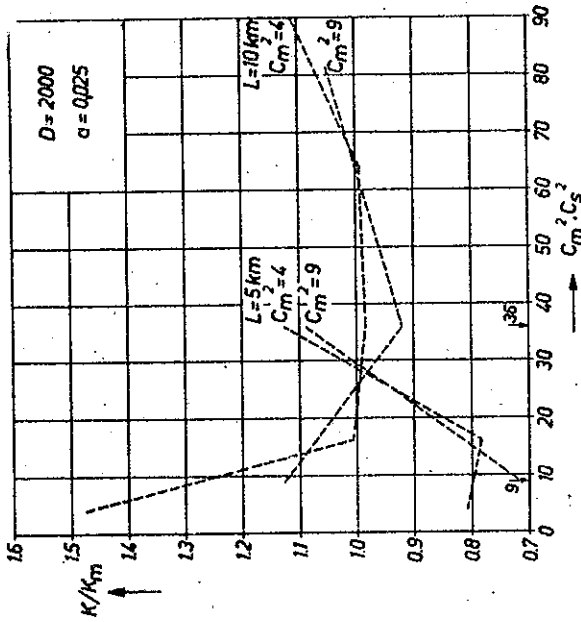
Połączenie między dwoma blokami jest narysowane dla przykładu



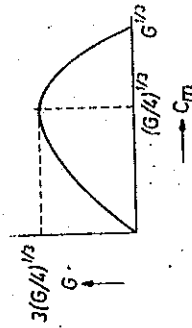
Rys. 14. Zależność K/K_m od $C_m^2 C_s^2$ przy $L = 5$, $D = 2000$,
 $\alpha = 0,05; 0,025; 0,0125$



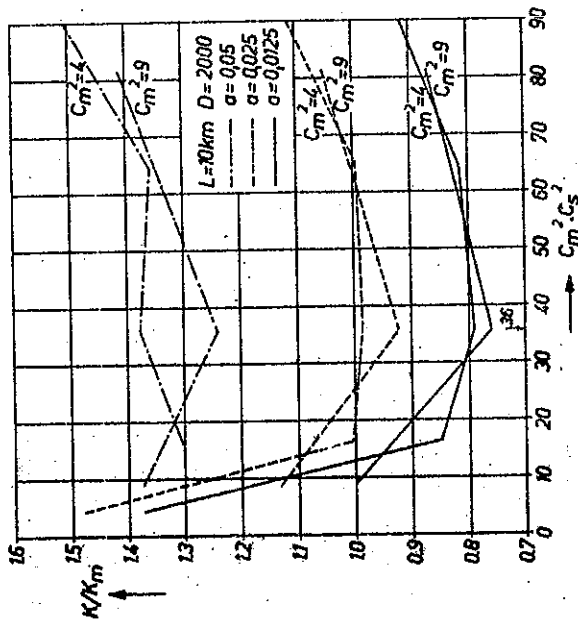
Rys. 15. Zależność K/K_m od $C_m^2 C_s^2$ przy $L = 10$, $\alpha = 0,025$,
 $D = 800; 2000; 3000; 5000$



Rys. 17. Zależność K/K_m od $C_m^2 C_s^2$ przy $L = 5\text{ km}$, $L = 10\text{ km}$,
 $a = 0.025$, $D = 2000$



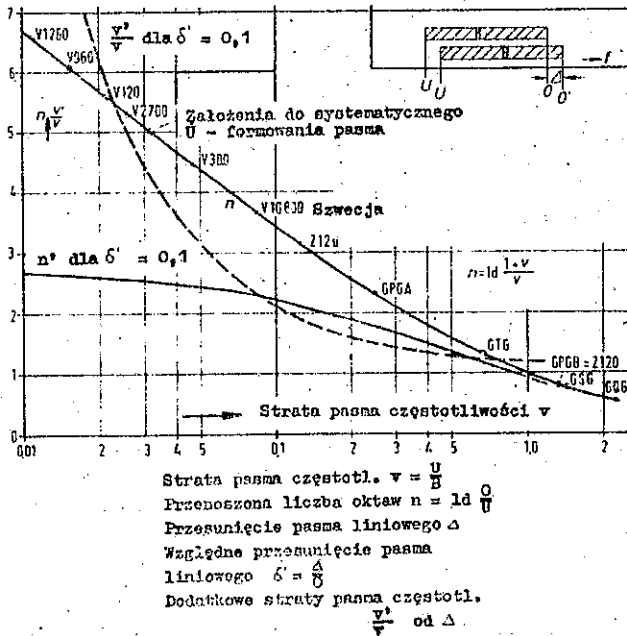
Rys. 18. Zależność $3(G/4)^{1/3}$ od C_m



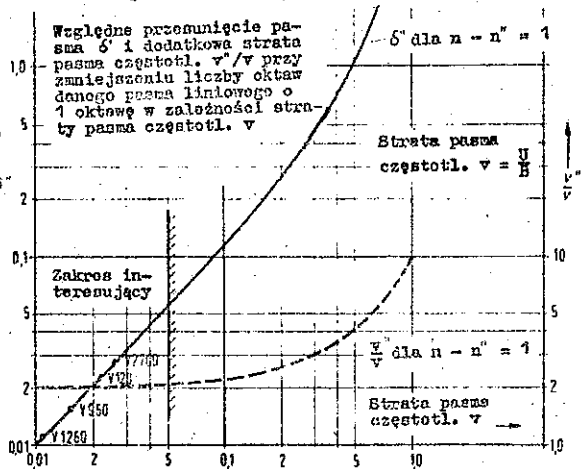
Rys. 16. Zależność K/K_m od $C_m^2 C_s^2$ przy $L = 10$, $D = 2000$,
 $a = 0.05$, 0.025 , 0.0125

Rodzaj torów	Symetryczne	Współosiowe					Systemy dwutorowe jednakanałowe	Systemy jednorowe różnokanałowe
		0,6/2,2	1,2/4,4	2,6/9,5	5,5/20,0	11/41		
Średnica przewodu (mm)	1,3							
Tłumienność w N/km przy 1 MHz	0,47	1,22	0,61	0,28	0,13	0,065		
Ilość kabli w linii potrzebna do transmisji dla obu kierunków	2	1	1	1	1	2	1	1
Liczba torów w rozpatrywanym kablu	2x8	2...20	2;4;6...20		2;4	1		

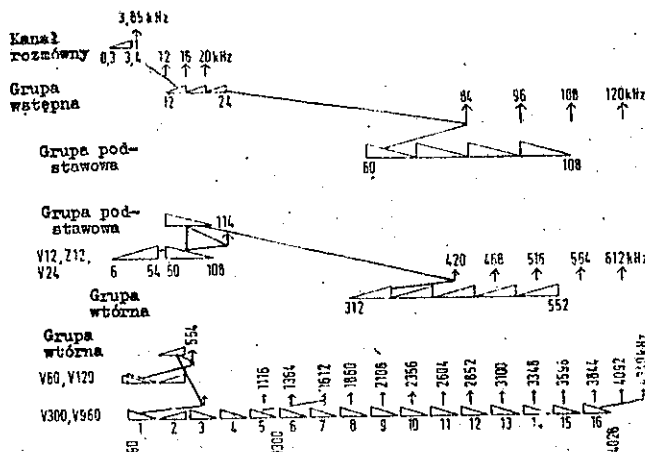
Rys. 19. Rodzaje linii i torów współosiowych



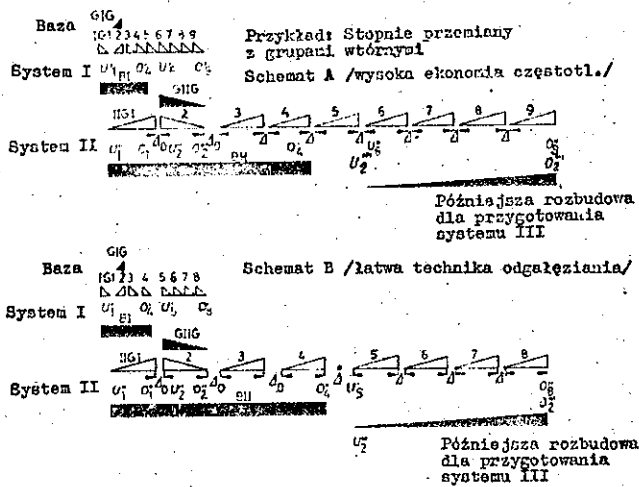
Rys. 20. Położenie i liczba oktaf pasma liniowego



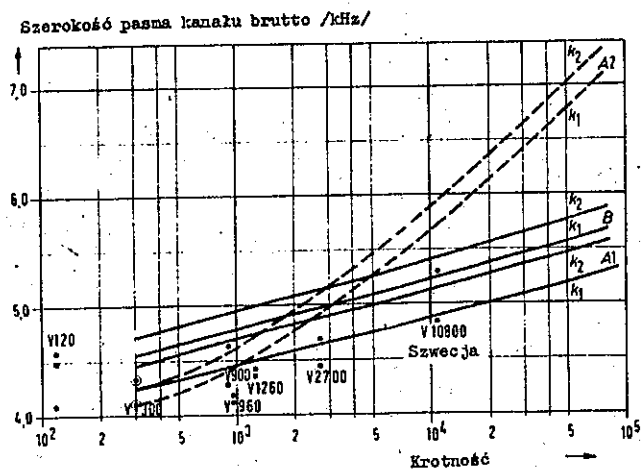
Rys. 21. Położenie i liczba oktaf pasma liniowego



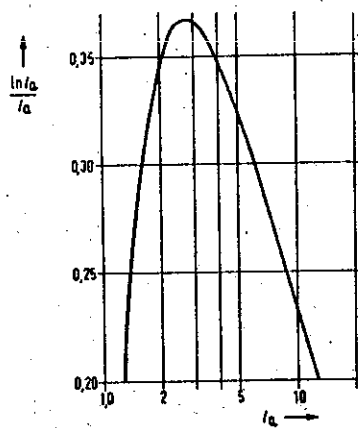
Rys. 22. Plan częstotliwości systemu 960-krotnego według CCITT



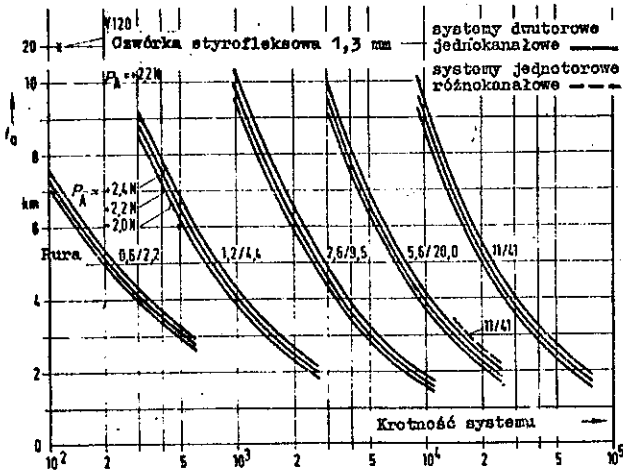
Rys. 23. Harmonijne formowanie pasm liniowych danej rodziny systemów



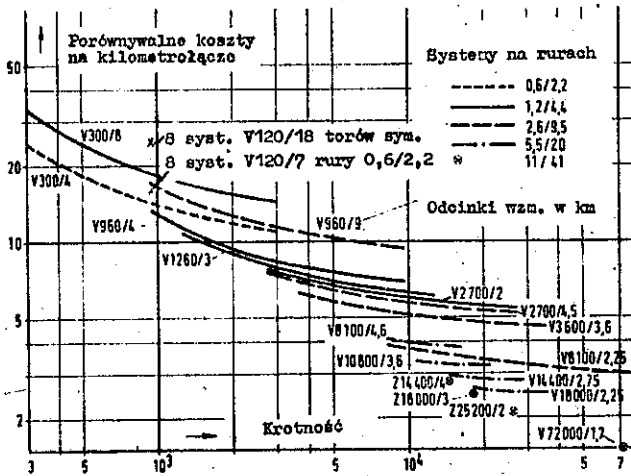
Rys. 24. Szerokość pasma kanału brutto w zależności od swiatomów



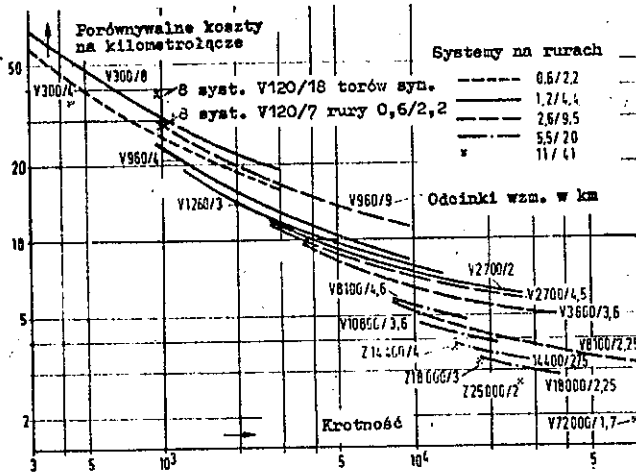
Rys. 25. Funkcja $\frac{\ln l_a}{l_a}$



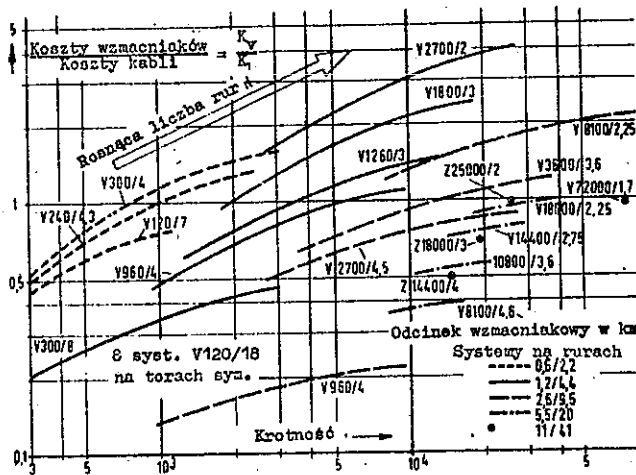
Rys. 26. Długości odcinków wzmacniających w zależności od rodzaju teletransmisyjnych systemów współosiowych



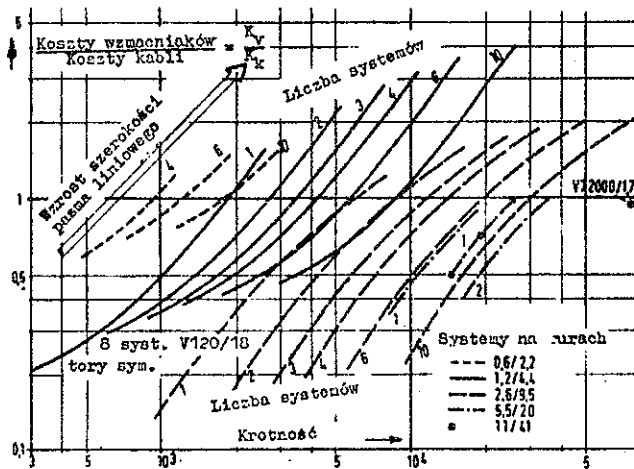
Rys. 27. Porównanie kosztów systemów współosiowych bez kosztów układania i montażu kabli



Rys. 28. Porównanie kosztów systemów współosiowych z uwzględnieniem kosztów układania i montażu kabli

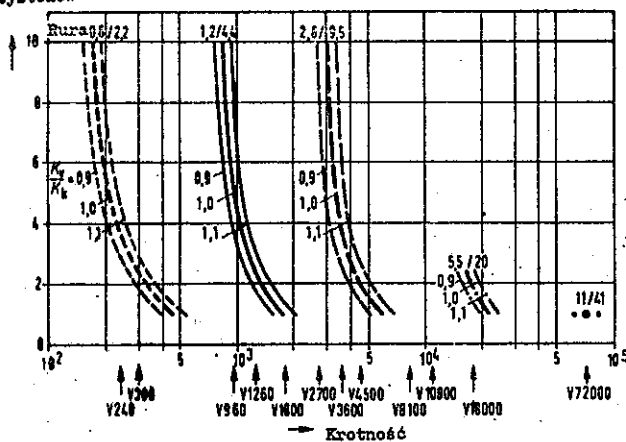


Rys. 29. Porównanie kosztów systemów współosiowych - stosunek kosztów wzmacniaków do kosztów kabli

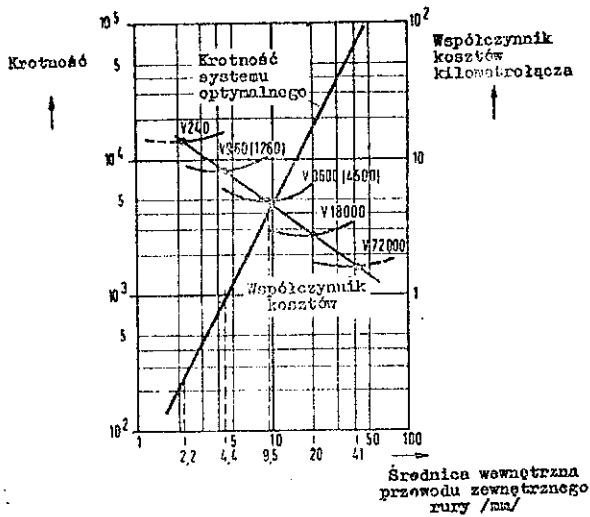


Rys. 30. Stosunek kosztów wzmacniaków do kosztów kabli w zależności od krotności

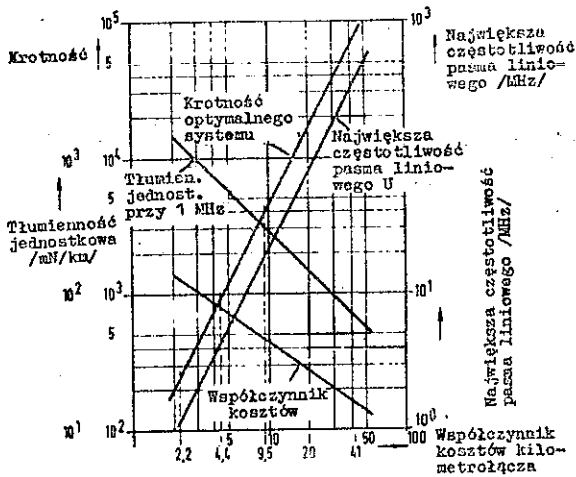
Liczba systemów



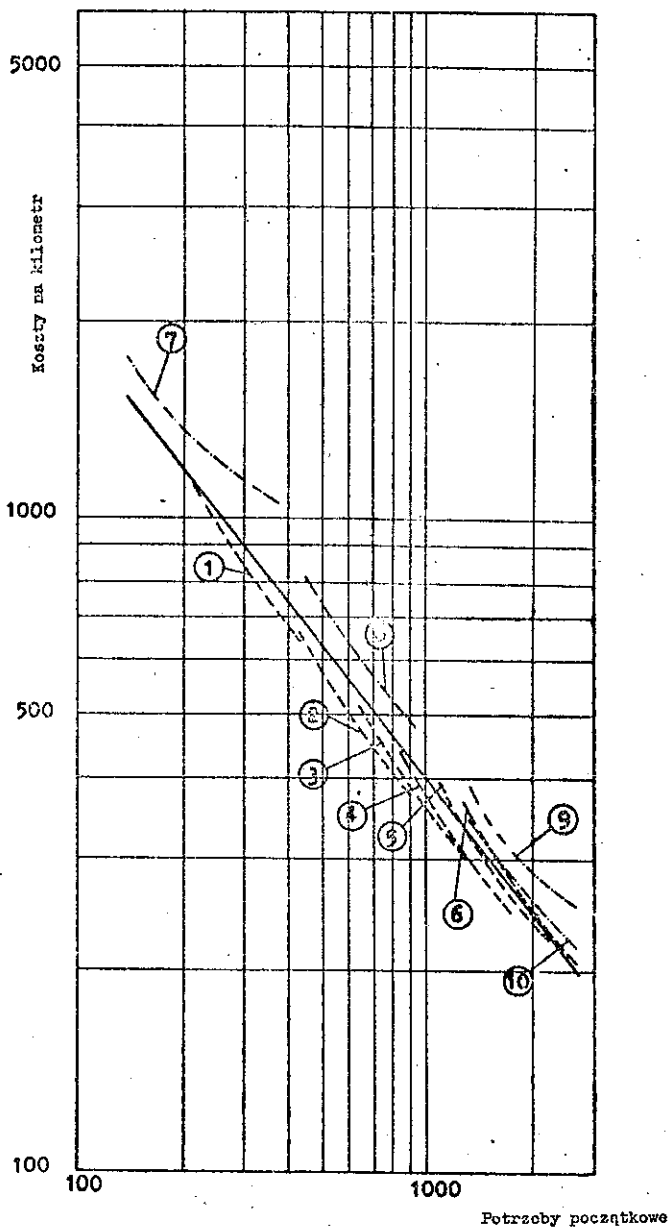
Rys. 31. Ekonomiczne teletransmisyjne systemy współosiowe



Rys. 32. Optymalne teletransmisyjne systemy współosiowe

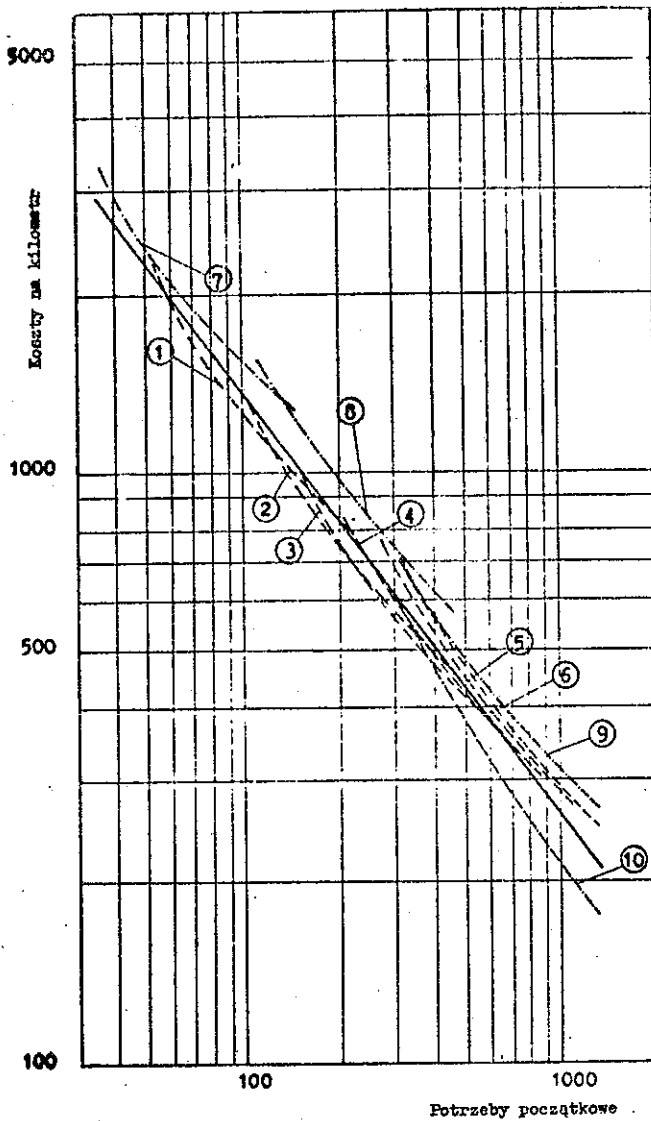


Rys. 33. Tendencje rozwojowe teletransmisyjnych systemów współosiowych

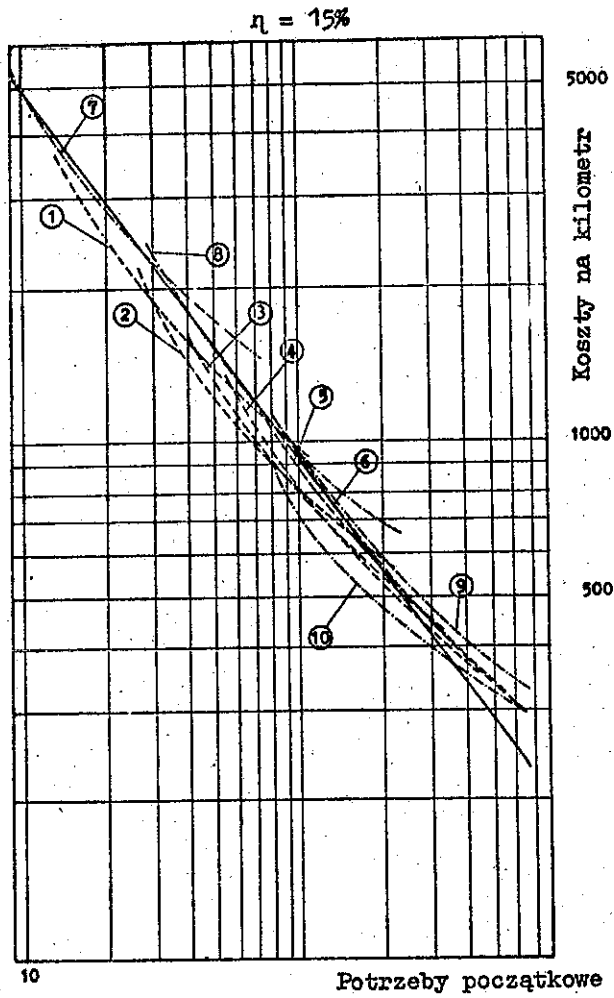


Rys. 34. Koszty na kilometr w funkcji potrzeb początkowych przy $\eta = 5\%$

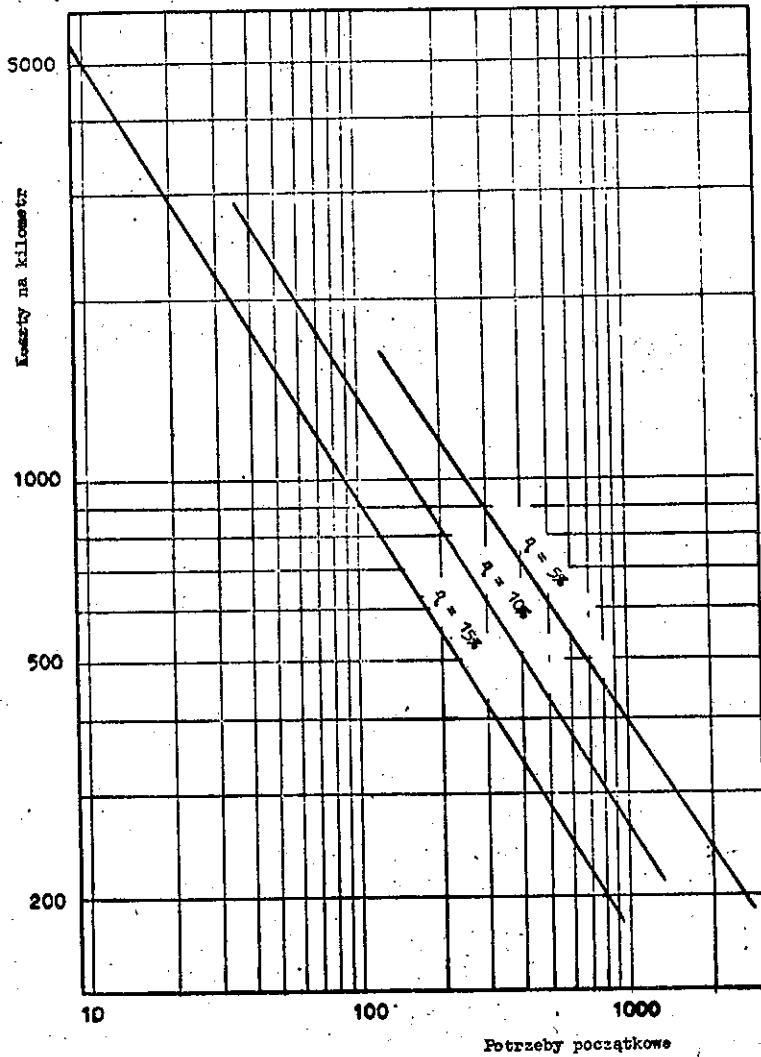
- ① IR 900 zł; ② IR 1800 zł; ③ IR 2700 zł; ④ IR 3600 zł; ⑤ IR 4500 zł;
 ⑥ IR 5400 zł; ⑦ współosiowy małowymiarowy 300 i 600 zł; ⑧ współosiowy 4 MHz 960 i 1920 zł;
 ⑨ współosiowy 12 MHz 2700 i 5400 zł; ⑩ współosiowy 4-12 MHz 960, 1920, 3660 i 5400 zł

$q = 10\%$ 

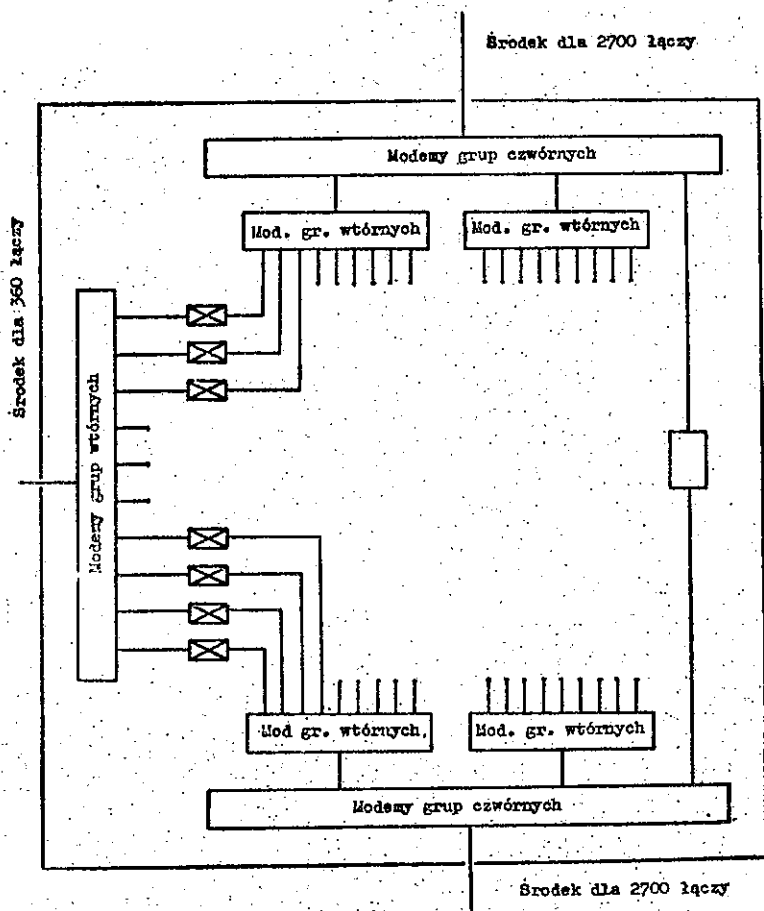
Rys. 35. Koszty na kilometr w funkcji potrzeb początkowych przy $q = 10\%$



Rys. 36. Koszty na kilometr w funkcji potrzeb początkowych przy $\eta = 15\%$



Rys. 37. Koszty na kilometr w funkcji potrzeb początkowych; q - parametr zmienny



Rys. 38. Przykład wyposażenia obiektu węzłowego sieci

